



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la  
obtención de título de Ingeniero Forestal**

### **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PROVOCADOS POR INCENDIOS FORESTALES EN SAN JOSÉ DE MINAS, PERIODO 2012-2018**

#### **AUTOR**

Alex Ernesto Mejía Bastidas

#### **DIRECTOR**

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

**IBARRA – ECUADOR**

2021

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL  
PROVOCADOS POR INCENDIOS FORESTALES EN SAN JOSÉ DE MINAS, PERIODO  
2012-2018

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación  
como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.  
**Director de trabajo de titulación**

Ing. Jorge Luis Ramírez López, Msc.  
**Tribunal de trabajo de titulación**

Ing. Oscar Armando Rosales Enriquez, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



Ibarra – Ecuador

2021



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003861513-3
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Mejía Bastidas Alex Ernesto
<b>DIRECCIÓN:</b>	Calle Princesa Paccha 6-51 y Av. El Retorno
<b>EMAIL:</b>	aemejiab@utn.edu.ec
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062652617
<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0986828286

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PROVOCADOS POR INCENDIOS FORESTALES EN SAN JOSÉ DE MINAS, PERIODO 2012-2018
<b>AUTOR/A:</b>	Alex Ernesto Mejía Bastidas
<b>FECHA:</b>	22/11/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Forestal
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Carlos Arcos Unigarro, Mgs.

## **CONSTANCIA**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de noviembre de 2021

## **EI AUTOR**



---

Mejía Bastidas Alex Ernesto

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA - UTN

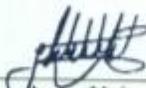
**Fecha:** 22 de noviembre del 2021

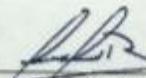
Alex Ernesto Mejía Bastidas: "**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PROVOCADOS POR INCENDIOS FORESTALES EN SAN JOSÉ DE MINAS, PERIODO 2012-2018**". Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 22 de noviembre del 2021, 86 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Realizar un análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal producto de incendios forestales en el periodo comprendido 2012-2018. Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar las áreas afectadas por incendios forestales en el periodo 2012-2018., evaluar el estado de la cobertura vegetal a causa de incendios forestales en el periodo 2012-2018.

**Fecha:** 22 de noviembre del 2021

  
Ing. Carlos Arcos Unigarro, Mgs.  
**Director de trabajo de titulación**

  
Alex Ernesto Mejía Bastidas  
**Autor**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, mis padres Rosa y Ernesto por sus consejos, comprensión, amor y apoyo incondicional en todo momento, a mi hermano Andrés por darme siempre el ñeque para seguir adelante, gracias a todos ellos me he convertido en la persona que soy hoy en día, con valores, principios y carácter para conseguir mis objetivos planteados.*

*A mi primo Diego Naranjo, mi ejemplo a seguir gracias a su apoyo incondicional en todo momento conseguí cumplir el objetivo de convertirme en un gran INGENIERO FORESTAL.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*El agradecimiento más sincero a mis padres y hermano, por estar siempre a mi lado brindándome su ayuda y apoyo en toda mi etapa estudiantil.*

*A mi director de tesis, ingeniero Carlos Arcos por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación me impulso a lograr este gran objetivo el de terminar con mis estudios con el mayor de los éxitos.*

*A mis asesores el ingeniero Oscar Rosales e ingeniero Jorge Ramírez, quienes con mucha paciencia compartieron su experiencia y sabiduría para así poder desarrollar de la mejor manera la presente investigación.*

## **LISTA DE SIGLAS**

**CODA.** Código Orgánico del Ambiente

**MAATE.** Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica

**GEE.** Google Earth Engine

**USGS.** Servicio Geológico de Estados Unidos

**NDVI.** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

**NBR.** Índice Normalizado de Área Quemada

**IAQ.** Índice de Área Quemada

**SIG.** Sistemas de Información Geográfica

**MDMQ.** Municipio del Distrito Metropolitano de Quito

**RGB.** Red, Green, Blue

**ETM.** Enhanced Thematic Mapper

**OLI.** Operational Land Imager

**DMQ.** Distrito Metropolitano de Quito

**FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**GAD.** Gobierno Autónomo Descentralizado

**SWIR.** Infrarrojo de onda corta

**NIR.** Infrarrojo cercano

**MODIS.** Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

**ESA.** Agencia Espacial Europea

**TM.** Thematic Mapper

**NASA.** Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

**TIR.** Infrarrojo térmico

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	xiv
<b>CAPÍTULO I</b> .....	16
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	16
1.1 Problema de investigación.....	16
1.2 Justificación .....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
1.4 Hipótesis o preguntas de investigación. ....	18
<b>CAPÍTULO II</b> .....	19
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	19
2.1 Fundamentación legal.....	19
2.1.1 Constitución de la República del Ecuador (2008).....	19
2.1.2 Código Orgánico del Ambiente (CODA).....	21
2.1.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.....	21
2.1.4 Línea de investigación.....	22
2.1.5 Códigos de ética en el proceso de investigación .....	22
2.2 Fundamentación teórica.....	22
2.2.1 Teledetección.....	22
2.2.2 Análisis multitemporal .....	24
2.2.3 Índices Espectrales .....	28
2.2.4 Clasificación de imágenes .....	29
2.2.5 Incendios forestales .....	30
2.2.6 Efectos de los incendios forestales .....	31
<b>CAPÍTULO III</b> .....	35
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	35
3.1 Ubicación del lugar.....	35
3.1.1 Política: parroquia, cantón, provincia.....	35
3.1.2 Geografía del sitio investigación: coordenadas y mapa .....	35
3.1.3 Límites.....	37

3.2 Caracterización edafoclimática del lugar .....	37
3.2.1 Suelo .....	37
3.2.2 Clima .....	39
3.2.3 Ecosistema .....	41
3.2.3 Uso del suelo y cobertura vegetal.....	43
3.3 Materiales, equipos y software .....	43
3.4 Metodología.....	44
3.4.1 Universo. ....	44
3.4.2 Tamaño de la muestra.....	44
3.4.3 Muestreo .....	45
3.4.4 Diseño experimental .....	47
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>53</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>53</b>
4.1. Identificación de las áreas afectadas por incendios forestales en el periodo 2012-2018 ...	53
4.1.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) .....	53
4.1.2. Clasificación no supervisada y supervisada .....	56
4.1.3. Índice Normalizado de Área Quemada (NBR).....	58
4.2. Evaluación del estado de la cobertura vegetal en el periodo 2012-2018.....	63
4.2.1. Severidad del fuego .....	63
4.2.2. Estado de la cobertura vegetal .....	66
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>71</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>71</b>
5.1. Conclusiones.....	71
5.2. Recomendaciones .....	72
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>73</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b> .....	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO VII</b> .....	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>83</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Características de las bandas espectrales .....	26
<b>Tabla 2.</b>	Bandas espectrales de LANDSAT-7 .....	27
<b>Tabla 3.</b>	Distribución de las bandas en OLI y TIRS .....	28
<b>Tabla 4.</b>	Elementos Típicos Producto de la Combustión de la Vegetación .....	33
<b>Tabla 5.</b>	Coordenadas parroquia San José de Minas .....	35
<b>Tabla 6.</b>	Tipos de Suelo.....	37
<b>Tabla 7.</b>	Materiales, equipos y software a emplear en la investigación. ....	44
<b>Tabla 8.</b>	Incendios periodo 2012-2018.....	44
<b>Tabla 9.</b>	Clasificación por estratos de los incendios y tamaño de la muestra, periodo 2012-2018.....	47
<b>Tabla 10.</b>	Rangos del Índice Normalizado de Variación de la Vegetación.....	49
<b>Tabla 11.</b>	Niveles de severidad en incendios obtenidos a partir del dNBR .....	51
<b>Tabla 12.</b>	Rangos de la actividad fotosintética del índice NDVI.....	52
<b>Tabla 13.</b>	Tipos de cobertura vegetal .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la Parroquia Rural de San José de Minas. ....	36
<b>Figura 2.</b> Mapa de los tipos de suelo .....	38
<b>Figura 3.</b> Mapa de los tipos de clima.....	40
<b>Figura 4.</b> Mapa de ecosistemas .....	42
<b>Figura 5.</b> Mapa de uso y cobertura del suelo.....	43
<b>Figura 6.</b> Estado de la cobertura vegetal pre-incendio y post-incendio.....	54
<b>Figura 7.</b> Cobertura Vegetal Identificada .....	57
<b>Figura 8.</b> Puntos de control georreferenciados .....	58
<b>Figura 9.</b> Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) .....	59
<b>Figura 10.</b> Número de Incendios Forestales identificados en el periodo 2012 – 2018.....	61
<b>Figura 11.</b> Áreas afectadas en el periodo 2012 – 2018 .....	62
<b>Figura 12.</b> Áreas afectadas por incendios forestales periodo 2012-2018 .....	63
<b>Figura 13.</b> Severidad de los incendios forestales 2012-2018.....	64
<b>Figura 14.</b> Gráfico de Alta Severidad .....	66
<b>Figura 15.</b> Actividad Fotosintetica (Bosque Nativo) .....	67
<b>Figura 16.</b> Actividad Fotosintetica (Vegetación Arbustiva) .....	68
<b>Figura 17.</b> Actividad Fotosintetica en Suelos Agrícolas y Pastizales .....	69

## RESUMEN

El fuego al ser usado tradicionalmente para la transformación de extensas áreas de bosques a suelos de producción agropecuaria, han generado afectaciones a los ecosistemas, constituyéndose en un factor de cambio de la cobertura vegetal. La presente investigación tuvo el propósito de realizar un análisis multitemporal del cambio de cobertura producto de incendios forestales en el periodo 2012-2018 en la parroquia San José de Minas. Se procedió a la descarga de imágenes satelitales Landsat 7 y 8 con sensores ETM y OLI respectivamente de la página del USGS, donde se aplicó las correcciones geométrica y radiométrica a cada una con ayuda del software ENVI 5.3. Para la identificación de los cambios de cobertura se aplicó el índice NDVI pre y post incendio, permitió conocer el estado de la vegetación y su proceso de regeneración después del evento adverso. Para la identificación de áreas afectadas por incendios se utilizó el índice NBR, que permitió localizar zonas que fueron impactadas. Con los índices espectrales se obtuvo que en el periodo 2012 al 2018 se registraron 407 incendios forestales afectando un área de 1468.70 ha, los bosques nativos fueron los más afectados en el año 2012 con una extensión de 171.93 ha, viéndose afectado el estado de la cobertura vegetal, presentando una recuperación al año 2018 en un área de 92.23 ha. El uso de imágenes satelitales y la aplicación de los índices espectrales permitió la identificación y el monitoreo del comportamiento de las coberturas después de la presencia de un evento adverso.

**Palabras clave:** NDVI, NBR, imágenes satelitales, software.

## ABSTRACT

Fire, has been traditionally used for the transformation of large areas of forests to agricultural production soils, affecting ecosystems, constituting a factor of vegetation cover change. The objective of this research was to perform a multitemporal analysis of forest cover change due to forest fires in the period 2012-2018 in the parish of San José de Minas. We proceeded to download Landsat 7 and 8 satellite images with ETM and OLI sensors respectively from the USGS page, where geometric and radiometric corrections were applied to each one with the help of ENVI 5.3 software. For the identification of cover changes, the NDVI index was applied pre and post fire, allowing to know the state of the vegetation and its regeneration process after the adverse event. For the identification of areas affected by fire, the NBR index was used to locate impacted burned areas. With the spectral indexes, it was obtained that in the period 2012 to 2018, 407 forest fires were recorded, affecting an area of 1468.70 ha, native forests were the most affected in 2012 with an extension of 171.93 ha, being affected the state of vegetation cover, presenting a recovery to 2018 in an area of 92.23 ha. The use of satellite images and the application of spectral indices allowed the identification and monitoring of the behavior of the cover after the presence of an adverse event.

**Keywords:** NDVI, NBR, satellite images, software.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### **1.1 Problema de investigación.**

##### 1.1.1. Problemática para investigar.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el fuego en la naturaleza tiene un papel importante debido a que son esenciales para mantener la dinámica de los ecosistemas, biodiversidad y productividad (FAO, 2020), que ayudan con ello a la eliminación de vegetación enferma y muerta, despejando así el dosel de los bosques para facilitar el desarrollo de especies heliófilas (Rice, 2010, p.14). Así también, el fuego es usado tradicionalmente para la transformación de extensas áreas boscosas a superficies de producción agropecuaria y ganadera (Galindo *et al.*, 2012).

Sin embargo, la incorrecta aplicación del fuego en la agricultura y ganadería han generado grandes afectaciones sobre la cobertura vegetal (Galindo *et al.*, 2012), provocando daños directos en la fauna y flora, mientras que de manera indirecta va desde la erosión del suelo, contaminación de fuentes de agua y deslizamientos de tierra, lo cual depende de la intensidad, recurrencia y duración con que se presente el incendio forestal (Ubeda y Sarricolea, 2016, citado en González, 2017, p.2). Es importante mencionar que el 97% de los flajelos son provocados por la actividad humana mientras que menos del 3%, son causados por fenómenos naturales (Sunar y Özkan, 2010).

La evaluación post-incendio sobre el cambio generado en la cobertura vegetal implica altos costos económicos en su ejecución ya que depende de la facilidad de acceso al lugar, su topografía y la extensión del incendio (Alloza *et al.*, 2014) teniendo en cuenta que el territorio en estudio forma parte de un sistema montañoso representando un 40% de su extensión (Sanchez *et al.*, 2016) lo que constituye grandes limitaciones para la obtención de información detallada en los procesos de recuperación de la vegetación después de una perturbación (Hislop *et al.*, 2019, p.377).

### 1.1.2. Formulación del problema de investigación.

En la parroquia San José de Minas no existe, o al menos se desconoce de un análisis multitemporal de los cambios de la cobertura vegetal generados por incendios forestales en el periodo comprendido 2012-2018.

## 1.2 Justificación

La alta variedad biológica presente en el Ecuador coloca al país en uno de los diecisiete países con mayor diversidad en el mundo (Reyes, s.f.). Según el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de San José de Minas, la parroquia posee una ubicación geográfica privilegiada debido a la gran variedad de pisos climáticos donde el comportamiento de sus variables permite que la tierra sea exuberante y productiva (GAD San José de Minas, 2015), con ello teniendo la presencia significativa de áreas susceptibles a incendios forestales donde las zonas de La Costa, Jatumpamba, Minas Chupa, Motilen Chupa y Anagumba Grande son las más afectadas, donde las actividades agrícolas y ganaderas son factores claves para la generación de perturbaciones antropicas.

Es por eso la importancia de generar estudios que permitan conocer los procesos de regeneración de la cubierta vegetal afectada, mismos que admitan el desarrollo de actividades de prevención, donde el enfoque multitemporal sea una herramienta para dilucidar los efectos del fuego en los bosques en un espacio y tiempo determinado (Chen *et al.*, 2017, p.154), convirtiendo los datos de detección remota en información eficaz para el análisis y mapeo de áreas de bosques quemados, determinando así las especies afectadas, el grado de daño y para monitorear la regeneración de la vegetación (Idris *et al.*, 2005, p.101).

Para el monitoreo y mapeo a escala global y regional de los bosques afectados por los incendios forestales, se emplean comúnmente las imágenes satelitales multiespectrales de resolución moderada que son capturadas por el satélite Landsat, entre otros, con la ayuda de los sensores ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) y OLI (Operational Land Imager) con una resolución espacial de 30 metros (Quintano *et al.*, 2006, p.646), mismas que pueden ser obtenidas a través de la página de la USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) cuyos datos están procesados minimizando los efectos atmosféricos y estacionales con lo que mejora enormemente las señales de la vegetación perturbada (Arnal-Storey *et al.*, 2020, p.487).

Según Lee *et al.* (2008) menciona que la diferenciación de imágenes es uno de los métodos de detección de cambios más precisos. (p.198), donde las técnicas más utilizadas para detectar la severidad del fuego es la aplicación de índices espectrales como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) con el uso de bandas espectrales mismas que pueden detectar de manera más confiable las áreas quemadas su severidad y cambios en la cobertura vegetal (Chen *et al.*, 2011), tomando en cuenta que muchos de los índices fueron diseñados específicamente en función de la señal de carbono y la temperatura, cuya señal espectral posterior al incendio conducirá a un rápido aumento y disminución de la reflectancia de SWIR y NIR, respectivamente, con lo que algunos investigadores encontraron que la combinación de las bandas SWIR mostraba una fuerte separación espectral en áreas quemadas y no quemadas (Liu *et al.*, 2020, p.104).

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar un análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal producto de incendios forestales en el periodo comprendido 2012-2018.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar las áreas afectadas por incendios forestales en el periodo 2012-2018.
- Evaluar el estado de la cobertura vegetal a causa de incendios forestales en el periodo 2012-2018.

### **1.4 Hipótesis o preguntas de investigación.**

¿Cuáles son las áreas afectadas por los incendios forestales en la zona de estudio en el periodo 2012-2018?

¿Cuáles son los cambios generados en la cobertura vegetal provocado por los incendios forestales en el periodo 2012-2018?

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Fundamentación legal**

##### **2.1.1 Constitución de la República del Ecuador (2008).**

La Constitución de la República del Ecuador, en el artículo 10, señala que “Las personas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos son titulares y gozarán de los derechos garantizados en la Constitución y en los instrumentos internacionales. La naturaleza será sujeto de aquellos derechos que le reconozca la Constitución”;

Que, El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador “reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.

Que, El artículo 71 de la Constitución de la República del Ecuador señala “La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema”.

Que, El artículo 396 de la Constitución de la República del Ecuador señala “El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto

ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.”

Que, El numeral 2 y 5 del artículo 397 de la Constitución de la República del Ecuador menciona “En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

*Numeral 2: Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.*

*Numeral 5: Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.”*

### **2.1.2 Código Orgánico del Ambiente (CODA)**

Que, El numeral 7 del artículo 98 del Código Orgánico del Ambiente dentro del Marco Institucional Especial en sus atribuciones señala:

*7. Dictar la normativa técnica para la prevención y control de incendios forestales en plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción, de conformidad con la Estrategia Nacional de Incendios Forestales;*

### **2.1.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.**

Que, El artículo 298 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente señala “Son instrumentos de gestión forestal sostenible, se hace referencia al literal k:

k) El plan operativo para la prevención, control y remediación de incendios forestales”

Que, El artículo 332 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente señala los Lineamientos para la restauración ecológica. La Autoridad Ambiental Nacional elaborará lineamientos para la restauración ecológica de suelos o ecosistemas, y la atención prioritaria a los suelos degradados o en proceso de desertificación.

Que, Los literales a, b, l del artículo 334 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente señala que la Autoridad Ambiental Nacional formulará e implementará el Plan Nacional de Restauración Ecológica, instrumento que tendrá por objetivos los siguientes:

- a) Restaurar ecosistemas degradados por pérdida de cobertura vegetal;*
- b) Priorizar las áreas para la implementación de planes, programas y proyectos de restauración; Para la aplicación de lo establecido en el literal b) de este artículo, se priorizarán las siguientes áreas:*
- l) Áreas con cobertura vegetal que hayan sufrido incendios forestales.*

Que, El artículo 369 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente señala que las acciones que se emprendan para el adecuado manejo integral del fuego e incendios forestales, con el fin de proteger y conservar el patrimonio natural y la biodiversidad son de interés público. Las medidas que se desarrollen y adopten para dicho fin, serán

vinculantes en todos los niveles de gobierno, el sector privado y la población en general.

#### **2.1.4 Línea de investigación.**

La línea de investigación de la Carrera es: Desarrollo agropecuario y forestal sustentable.

#### **2.1.5 Códigos de ética en el proceso de investigación**

Que, El artículo 4 del Código de ética de la Universidad Técnica del Norte señala que, para cumplir con su misión, la Universidad Técnica del Norte, define los siguientes principios éticos y valores como fundamento para el ejercicio de sus acciones y como guía para la orientación de su desarrollo:

*1. Compromiso social. - Es la disposición responsable y consciente de la Universidad con la región y el país para promover su desarrollo comunitario, humano, espiritual y material.*

*5. Eticidad. - La institución se guía por los valores universales de honestidad, honradez, responsabilidad y justicia. Sus integrantes y egresados se desempeñarán con sólidos códigos de ética profesional y humana.*

*8. Humanismo. - Ubica al ser humano como el centro de la actividad universitaria, contribuye a la construcción y promoción de valores, la defensa de sus derechos y el cumplimiento de sus deberes.*

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 Teledetección**

Técnica de obtención de datos de la superficie terrestre a través de la captura de información territorial, a partir de la radiación electromagnética captada por el sensor satelital (Avilés *et al.*, 2016, p.8), energía transportada a través de ondas que permiten interpretar los cambios que ha sufrido el objeto en estudio (Rodríguez *et al.*, 2015).

#### **2.2.1.1 Elementos de un sistema de teledetección**

Morón *et al.* (2014) identifican que en el sistema de teledetección se encuentran los siguientes elementos:

- **Fuente de energía:** Es el origen del flujo energético detectado por el sensor, principalmente de energía solar en el caso de la teledetección activa, como también un foco externo al sensor tratándose de la teledetección pasiva.
- **Superficie o cubierta terrestre:** Constituida por la vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, mismas que reciben la señal energética del sensor y emiten una nueva señal de acuerdo con sus particulares características físicas.
- **Sensor remoto o sistema sensor:** Compuesto por el sensor y la plataforma que los sustenta. Tiene como misión captar la energía procedente de las coberturas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- **Sistema de recepción-comercialización:** Es donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras correcciones, se distribuye a los intérpretes o usuarios.
- **Intérprete:** Es la persona que analiza la información ya sea en forma de imágenes analógicas o digitales, convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa, orientada a facilitar la evaluación del problema en estudio.
- **Usuario final:** Encargado de analizar el documento elaborado por el intérprete. (p.5)

### 2.2.1.2 Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son el resultado de los procesos de captura de la radiación emitida o reflejada por la superficie de la tierra mediante un sensor colocado a bordo de un satélite artificial (Jara, 2012, p.18). Mismas que abarcan zonas mas amplias y que permiten realizar estudios territoriales a bajo costo (Arozarena *et al.*, 2016).

Existen cuatro tipos de resoluciones que proporcionan diferentes características de la superficie terrestre.

#### ➤ Resolución Espacial

Es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra la cual viene representada por un píxel ya que es la unidad mínima que conforma una imagen digital (Labrador *et al.*, 2012, p.16).

#### ➤ Resolución Espectral

Define el número y ancho de bandas espectrales que puede discriminar, mientras mayor sea la resolución del sensor incrementara la cantidad de información del comportamiento de una misma cobertura (Labrador *et al.*, 2012, p.18).

➤ **Resolución Radiométrica**

Es la capacidad que posee el sensor para discriminar los niveles o intensidades de radiación, esto depende del número de bits utilizados, mientras mayor sea la resolución radiométrica de un sensor remoto, más sensible será detectar pequeñas diferencias en los valores de reflectancia (Rao *et al.*, 2007, p.444).

➤ **Resolución Temporal**

Se refiere a la frecuencia con la que el sensor adquiere las imágenes de la misma porción de la superficie terrestre (Chuvienco, 1995, p.95).

### **2.2.1.3 Corrección de imágenes satelitales**

El tratamiento de las imágenes satelitales es de vital importancia para evitar los errores producidos en el proceso de captura de la información digital. En este ámbito, se enuncian las correcciones más utilizadas en el tratamiento de las imágenes.

➤ **Corrección Geométrica**

Es el proceso de transformación de las coordenadas de los píxeles de las imágenes obtenidas que de tal forma que, coincidan de manera precisa con una imagen de referencia. Se realiza mediante una transformación polinomial de segundo grado que se obtiene a partir de un conjunto de pares de control de ambas imágenes (Ambrosio *et al.*, 2002, p.3).

➤ **Corrección Radiométrica**

La corrección radiométrica se efectúa directamente a la radiometría de la imagen, debido a los valores erróneos registrados en la fase de captura y/o transmisión de información procedentes de los satélites artificiales.

Consiste en eliminar los efectos atmosféricos producto de los gases y partículas en suspensión de la atmósfera con el uso de modelos matemáticos, mismos que se solventaran conociendo los datos de calibración radiométrica del mismo (Arozarena *et al.*, 2016).

### **2.2.2 Análisis multitemporal**

Para Rivas (2000, citado en Paz, 2004), los análisis multitemporales son usados para la generación y monitoreo sistemático; continuo sobre los cambios que se producen en la cobertura vegetal. (p.6)

### 2.2.2.1 Técnicas utilizadas para el análisis multitemporal

Atencia *et al.* (2008) en su estudio identificaron cuatro técnicas principales para la realización de los análisis multitemporales:

- **Composiciones multitemporales:** En esta técnica tiene como base la comparación visual entre los tonos grises o de color que ofrecen dos o más imágenes de distintas fechas este método es ventajoso en categorías urbanas (Riaño, 2002).
- **Diferencia entre imagen:** De acuerdo a la información obtenida en el libro Fundamentos de teledetección Espacial (1996, citado en Atencia *et al.*, 2008) indica que la diferencia entre imágenes consiste en una simple resta entre las imágenes de dos fechas, previamente homogenizada en cuanto a radiometría y geometría que permite la discriminación de la zona que han experimentado un cambio en el periodo de tiempo determinado, los lugares estables presentarán un valor cercano a cero, mientras las que hayan experimentado cambios presentaran un valor distinto a cero (negativo o positivo). (p.50)
- **Cocientes multitemporales:** Esta técnica presenta resultados significativos frente a los cambios de los valores originales, en comparación de la diferencia de imágenes que al ser una técnica muy sencilla no permite incorporar una valoración representativa del cambio (Rojas, 2011, p.33).
- **Análisis de componentes principales:** Este análisis permite la esquematización de un conjunto de bandas en otro más reducido sin perder gran parte de la información original (Atencia *et al.*, 2008).

### 2.2.2.2 Sensores más utilizados para los análisis

Los sensores MODIS, CHRIS/Proba y Landsat TM, ETM +, OLI, son los que proporcionan la capacidad de analizar variables a largo plazo, con lo que constituyen una herramienta esencial para el estudio de la evolución de los bosques.

- **Sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)**

Se encuentra en los satélites Terra y Aqua los cuales forman parte de la misión, Earth Observing System, de la NASA. Este sensor posee baja resolución espacial y alta resolución temporal el cual fue diseñado para el monitoreo de la cobertura terrestre. Contiene 36 bandas espectrales de las cuales siete son útiles para el estudio de la cubierta terrestre con una resolución espacial de 250 y 500 metros, sensor que permite tener imágenes diarias de toda la superficie terrestre (García–Mora y Mas, 2011, p.84).

Mas (2011) menciona que la alta resolución temporal del sensor MODIS permite la generación de series de tiempo debido a que es posible observar cualquier parte de la Tierra diariamente, con el uso de las herramientas de acceso libre en internet, siendo útil para la realización de análisis multitemporales. (p.13)

En la Tabla 1. se detalla el número de banda que son útiles para determinar la temperatura de la superficie terrestre.

Tabla 1. Características de las bandas espectrales

Uso principal	Banda	Ancho de banda ( $\mu\text{m}$ )	Radianza espectral	SNR o NE (delta) T requerido T(K)
Temperatura atmosférica	21	3929-3989	2.38 (335k)	2.00*
	22	3929-3989	0.67 (300k)	0.07*
Temperatura de la superficie/nubes	20	3660-3840	0.45 (300k)	0.05*
	31	10780-11280	9.55 (300k)	0.05*
	32	12270	894 (300k)	0.05*

**Nota:** Los valores de radiancia espectral están en  $\text{W/m}^2/\mu\text{m/sr}$ ; SNR (ratio de señal-ruido); NE(delta)T requerido (Diferencia de temperatura equivalente al ruido (\*))

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de Mas (2011).

#### ➤ CHRIS/Proba (Espectro de imágenes de alta resolución compacto)

Fue lanzado a bordo del satélite PROBA perteneciente a la Agencia Espacial Europea (ESA) el 22 de octubre del 2001. El instrumento tiene la capacidad de adquirir hasta 63 bandas de datos hiperespectrales con una resolución espacial terrestre de 36 metros, con la capacidad de adquirir 18 bandas de datos con una resolución espacial de 17 metros (Fletcher, 2004, p.141).

Pascual (2012) en su tesis doctoral destaca que los sensores CHRIS/Proba, tienen la capacidad de tomar imágenes multiangulares, mismas que han sido utilizadas exitosamente en estudios terrestres debido a su efectividad en terrenos con diferente pendiente. Sin embargo, presenta desventajas en el cartografiado bentónico debido a que la luz tiene que viajar más distancia cuando se forman las columnas de agua.

Menciona Fletcher (2004,) que gracias a la capacidad hiperespectral y de múltiples ángulos de CHRIS lo convierte en un recurso importante para los fenómenos que se presentan en la vegetación como los incendios forestales, incluyendo otras aplicaciones como en las aguas costeras y continentales, educación y relaciones públicas.

➤ **Landsat TM y ETM+**

El programa Landsat es el resultado del trabajo conjunto entre la NASA y la USGS, mismo que proporciona el registro espacial continuo de todos los cambios suscitados en la superficie terrestre, durante más de 40 años (Masek, 2020).

Masek (2020) menciona que el sensor TM (Thematic Mapper), está equipado con satélites Landsat 4 y 5, considerados como generadores de imágenes de segunda generación realizando un barrido multiespectral el cual opera en las regiones visible e infrarroja del espectro electromagnético, que logra una resolución de imagen más alta. Los datos de TM se detectan en siete bandas espectrales simultáneamente, donde la banda seis detecta la radiación infrarroja térmica (calor) teniendo un campo de 120 metros.

El sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) está equipado en el satélite Landsat 7, a diferencia del anterior este viene equipado con ocho bandas siendo la última una banda pancromática de resolución de 15 metros las mismas que están especificadas en la Tabla 2. El ETM+ reemplazo la banda número seis del sensor TM una banda térmica cuya resolución es de 60 metros, cubriendo las bandas espectrales visible, infrarrojo cercano (NIR), onda corta e infrarrojo térmico (TIR) del espectro electromagnético (Boccia, 2019).

Tabla 2. Bandas espectrales de LANDSAT-7

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
1	Azul-Verde	450-520	30
2	Verde	520-600	
3	Rojo	630-690	
4	NIR	760-900	
5	Infrarrojo de onda corta	1550-1750	60
6	Infrarrojo térmico	10400-12500	
7	Infrarrojo de onda corta	2080-2350	30
8	Pancromática	500-900	15

Fuente: Labrador *et al.* (2012)

➤ **Landsat OLI (Operational Land Imager)**

El sensor OLI se lo encuentra en el satélite Landsat 8, a diferencia de sus antecesores este posee una mejora con la incorporación de dos nuevas bandas espectrales. Las cuales han sido diseñadas para el estudio de los recursos hídricos y zonas costeras, como también para la detección de nubes cirrus; su resolución espacial es de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9, mientras que las nuevas poseen una resolución de 15 metros las cuales se detallan en la Tabla 3 (Ariza, 2013, p.11).

Tabla 3. Distribución de las bandas en OLI y TIRS

	<b>Bandas</b>	<b>Longitud de onda (micrómetros)</b>	<b>Resolución (metros)</b>
<b>Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)</b>	Banda 1 – Aerosol costero	0,43 – 0,45	30
	Banda 2 – Azul	0,45 – 0,51	30
	Banda 3 – Verde	0,53 – 0,59	30
	Banda 4 – Rojo	0,64 – 0,67	30
	Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0,85 – 0,88	30
	Banda 6 – SWIR 1	1,57 – 1,65	30
	Banda 7 – SWIR 2	2,11 – 2,29	30
	Banda 8 – Pancromático	0,50 – 0,68	15
	Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30
	*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100
	*Banda 11 – Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100

**Nota:** \* Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrear a 30 metros.

**Fuente:** USGS, 2013 citado en Ariza, 2013

### 2.2.3 Índices Espectrales

Para la obtención de información sobre el comportamiento espectral de distintas coberturas presentes en la superficie terrestre, es importante aplicar una serie de coeficientes de bandas o índices espectrales para cada una de las imágenes multispectrales.

Para la identificación del estado actual y posterior de la cubierta vegetal, así como también de áreas que han sido afectadas por incendios forestales es necesario aplicar principalmente los siguientes índices:

➤ **NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)**

Es un cálculo de teledetección diseñado por Tucker en 1979 para el monitoreo de coberturas vegetales, como también para la evaluación de la biomasa verde (Glenn y Tabb, 2019, p.1). Busetto *et al.* (2008 citado en Maselli *et al.*, 2016) menciona que el índice NDVI aplicado en una serie de imágenes permite el estudio en la dinámica espacial y temporal de las respuestas de los ecosistemas a perturbaciones ambientales o inducidas por el hombre. (p.171)

➤ **NBR (Normalized Burn Ratio)**

Es un índice similar al NDVI diseñado para la identificación de áreas quemadas en grandes extensiones a través de imágenes satelitales, ya que utiliza las bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo cercano de onda corta (Cogollos *et al.*, 2017, p.66). Donde la señal espectral posterior al incendio conducirá a un rápido aumento y disminución de la reflectancia de SWIR y NIR, respectivamente (Liu *et al.*, 2020, p.105).

➤ **IAQ o BAI (Índice de Área Quemada)**

Para Martín (1998, citado en Columba *et al.*, 2016), el IAQ está diseñado para enfatizar las áreas quemadas, basándose en el comportamiento espectral de los materiales carbonizados y de las cenizas producto de un incendio en la cobertura vegetal (p.9), por medio de porciones de la banda roja e infrarrojo cercano del espectro electromagnético (Vargas-Sanabria y Campos-Vargas, 2020).

## 2.2.4 Clasificación de imágenes

Para Vicens (2009, citado en Monterroso, s.f.), las técnicas de clasificación de imágenes posibilitan la transformación de imágenes crudas en datos temáticos o mapas que mostrarán información con un significado evidente.

### 2.2.4.1 Clasificación supervisada

En este método se requiere del conocimiento de la zona de estudio. Para ello, se seleccionan unas muestras significativas en la imagen y en el terreno (u objeto real) con vistas a la interpretación real de dichas muestras, etiquetándose posteriormente todos los píxels con criterios estadísticos (cálculos de probabilidad), finalmente se agruparán formando las diversas clases definitivas (Arozarena *et al.*, 2016).

#### **2.2.4.2 Clasificación no supervisada**

Se usa algoritmos para agregar píxeles en grupos naturales o clúster con similitud radiométricas por cada banda espectral, según estructuras matemáticas características espectrales similares presentes en la imagen. Aunque los resultados son pocos exactos debido a que no se conoce a priori las áreas del terreno, el intérprete debe asociar los tipos de coberturas generados con información auxiliar (Arozarena *et al.*, 2016).

#### **2.2.5 Incendios forestales**

Son aquellos cuyo origen puede ser natural o antrópico, mismos que se presentan en los ecosistemas terrestres propagándose por la vegetación sin importar su tipo de cobertura ya sean: matorrales, pastizales, humedales y forestales. Estos eventos tienen la capacidad de extenderse y propagarse sin ningún control ocasionando graves daños ecológicos (Pausas, 2012, p.3).

##### **2.2.5.1 Principales causas de los Incendios Forestales**

La actividad antropogénica es una de las principales causas de incendios forestales, cuya afectación se extiende a lo largo de todos los ecosistemas vegetales en el mundo, actualmente existen diversas causas que originan dichos eventos adversos, Aguilera (2015) las divide en causas estructurales (clima, vegetación y actividad humana) y en causas inmediatas (naturales y antrópicas) (p.27).

De acuerdo con Hernández *et al.* (2020) en su investigación indica que, si bien los incendios son un fenómeno natural y habitual e incluso positivo en muchas regiones, y a escala planetaria la superficie quemada ha ido disminuyendo en los últimos años, en 2019 se observó una actividad incendiaria excepcional en términos de severidad y emisiones. Determinando así que en cada año arde entre el 3% y el 4% de la superficie terrestre del planeta.

La parroquia rural de San José de Minas posee como principales actividades productivas la producción agrícola y ganadera, abarcando una extensión de 34.580 ha (MDMQ, 2016, p.88), donde el origen de la mayoría de incendios forestales en la zona son ocasionados por el aumento de la frontera agrícola, quema de rastrojos, rebrote de pastos, entre otras actividades ocasionando el aumento en la frecuencia de eventos adversos como en el crecimiento de la superficie incendiada (Muñoz, 2000, p.14).

### **2.2.6 Efectos de los incendios forestales**

Los incendios forestales ocasionan grandes afectaciones sobre la diversidad biológica, contribuyendo al calentamiento global provocando alteraciones significativas en el ciclo hídrico, influyendo en el comportamiento de las especies vegetales y animales afectando a la biodiversidad (Barragán y García, 2017, p.36).

González (2017), indica en su investigación que los bosques al ser una fuente invaluable de recursos medioambientales, la devastación que genera el fuego son complejos ya que afectan de manera directa e indirecta a los procesos ecológicos, debido a la existencia de una gran variedad de coberturas vegetales. Ante la alta frecuencia de incendios junto con los periodos de sequía crea impactos ambientales a largo plazo tales como la disminución de la productividad de los ecosistemas, desertificación, entre otros (p.2).

#### **➤ Efectos del fuego en la vegetación**

Aguilera (2015) menciona que el efecto principal del fuego es la pérdida total de las formaciones herbáceas, perdidas parciales de la parte aérea de las especies arbustivas como también la afectación irreversible a las copas de las especies arbóreas lo cual conlleva a la eliminación de la comunidad vegetal presente en el terreno (p.36).

Los autores Bodi *et al.* (2012) concuerdan que ante el paso del fuego se crea un aparente vacío biológico en el territorio afectado, sin embargo, es frecuente observar una gran actividad biológica posterior y plantas simbiotas con algas tras las primeras lluvias ya que existen especies vegetales que pueden presentar adaptaciones encaminadas a resistir y propagar el fuego (p.38).

#### **➤ Efectos sobre el suelo**

Iglesias y Martínez (citado en Cuesta y Giraldo, 2013) identifican que la incidencia del fuego en el suelo modifica las propiedades fisicoquímicas y biológicas, esto tiene una íntima relación con la intensidad y la duración de este. Esto se da debido a que durante un incendio intenso la temperatura puede alcanzar de 1200 a 1400 °C dentro de la masa en ignición; en la superficie del suelo se puede llegar a 1000 °C en incendios de matorrales y a 200 °C en incendios de pastizales, ocasionando la modificación de las propiedades del suelo (p.60).

Ante la pérdida temporal de la cobertura vegetal, el suelo se convierte en un sistema de muy frágil y vulnerable a la degradación que provocan daños irreversibles, como es la erosión post incendio (Matix-Solera, 2011).

➤ **Efectos sobre la fauna**

La destrucción del bosque ocasiona impactos devastadores sobre las especies de vertebrados e invertebrados causando efectos directos e indirectos, teniendo como efecto directo la muerte de los individuos, en cuanto a los efectos indirectos se incluye el estrés producido hacia los animales y la destrucción de su hábitat conjuntamente la eliminación de las fuentes de alimentación lo que provoca el desplazamiento forzoso de muchos de ellos, tomando en cuenta que sus ecosistemas se ven alterados (Gómez, 2019).

➤ **Efectos sobre la hidrología**

Los procesos hidrológicos son complejos a causa de los múltiples mecanismos involucrados, como lo son la precipitación, evaporación y escorrentía. Estos tienen una relación directa que se deriva de la desaparición de la protección de la vegetación y la hojarasca, el suelo queda expuesto y la porosidad disminuye a causa del impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie, lo que produce una abundante escorrentía.

El impacto directo de las gotas de lluvia aumenta de manera drástica la capacidad de retención y almacenamiento de agua, así como la resistencia a los flujos de agua superficial en las laderas con lo que el volumen de infiltración y conductividad hidráulica se ven afectadas por el fuego (Ferreira *et al.*, 2011).

➤ **Efectos en la atmósfera**

Amengual (2019) en su publicación menciona que los incendios forestales liberan a la atmósfera importantes cantidades de CO<sub>2</sub>, además de otros gases y partículas, lo cual favorece el efecto invernadero y el cambio climático.

Haltenhoff (2005) indica que es importante tener en cuenta que la combustión de la vegetación no es un proceso químicamente eficiente, debido al contenido de humedad ya que tiende a absorber diferentes cantidades de energía desde el fuego, por tal razón el viento cumple un papel importante porque con los movimientos de las masas de aire alrededor del fuego no aporta el oxígeno suficiente y de forma pareja para que la mezcla de los elementos de gases inflamables sea consumida completamente (p.72-73).

Los contaminantes más importantes generados por la combustión de vegetación, obtenidos por el autor, se estandarizaron en la Tabla 4:

Tabla 4. Elementos Típicos Producto de la Combustión de la Vegetación

<b>Productos de la Combustión</b>	<b>Valor Mínimo Obtenido</b>	<b>Valor Máximo Obtenido</b>	<b>Rango Medio Estimado</b>
Dióxido de Carbono	906 kg/ton	1586 kg/ton	1.246 kg/ton
Monóxido de Carbono	226 kg/ton	363 kg/ton	0.294 kg/ton
Hidrocarbonos	2.3 kg/ton	122 kg/ton	0.062 kg/ton
Partículas	0.0025 kg/ton	0.0135 kg/ton	0.008 kg/ton

**Nota:** Los valores están expresados en cantidad de kilos o toneladas de producto de la combustión por tonelada de combustible quemado.

#### ➤ **Efectos en el paisaje**

El fuego al ser un factor de disturbio genera la descomposición de los hábitats naturales ya que tienen una dimensión espacial que se caracteriza por su ocurrencia en el territorio dando como resultado la disrupción de procesos ecosistémicos claves (Blondel y Fernandez, 2012, p.8).

Aguilera (2015) menciona que el paisaje es un elemento integrador de valores naturales, estéticos, emotivos, culturales, científicos y ecológicos. Evaluar el impacto paisajístico producto de los incendios forestales es complejo, pero es evidente que los incendios forestales causan un grave impacto visual (p.40).

#### **2.2.7 Etapas para la Propuesta de Plan de Prevención de Incendios Forestales**

Los planes de prevención son instrumentos técnicos de planificación donde se contemplan las acciones a tomar en cuenta en los terrenos forestales para prevenir la producción de incendios (Gudiño, 2011 citado en Quistial, 2016).

Para la elaboración del plan de prevención se debe tomar en cuenta tres etapas:

##### ➤ *Etapa I. Conceptualización y contextualización*

En esta etapa se realiza un análisis y valoración de las prioridades y necesidades que presenta el territorio.

##### ➤ *Etapa II. Diagnóstico*

Consiste en el levantamiento de información, como también la evaluación de los impactos y efectos ambientales consecuencia de acciones humanas.

##### ➤ *Etapa III. Planificación e implementación*

En base a la información levantada, se toma en cuenta propuestas de prevención de incendios forestales, donde abarcan los ámbitos normativos, acciones para la

reducción de la propagación de incendios, colaboración de entidades públicas y privadas y la participación fundamental de la ciudadanía.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del lugar

##### 3.1.1 Política: parroquia, cantón, provincia

La parroquia rural de San José de Minas se encuentra ubicada en la parte Norcentral de la provincia de Pichincha.

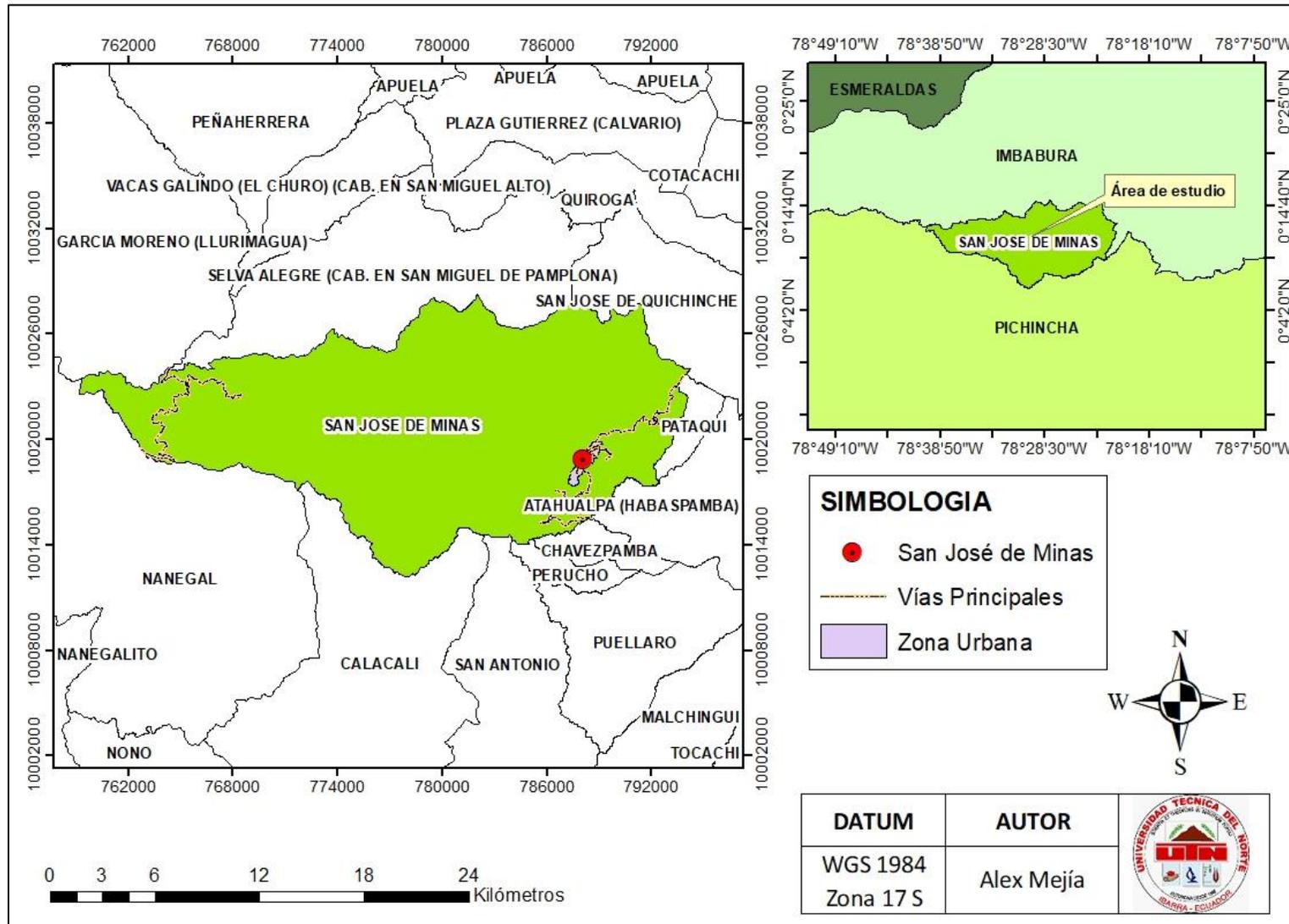
##### 3.1.2 Geografía del sitio investigación: coordenadas y mapa

La cabecera parroquial, San José de Minas, se encuentra ubicada conforme a la proyección de coordenadas UTM, Datum: WGS 1984 en la zona 17 S, las cuales se encuentran representadas en la figura 1 y en la tabla 5.

Tabla 5. Coordenadas parroquia San José de Minas

<b>Punto</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>	<b>Altitud (m)</b>
<b>Norte</b>	781968	10028275	3504
<b>Sur</b>	777940	10012189	1324
<b>Este</b>	794229	10024035	3406
<b>Oeste</b>	759163	10022655	862

Figura 1. Ubicación geográfica de la Parroquia Rural de San José de Minas.



### 3.1.3 Límites

La zona de estudio se encuentra ubicada en los siguientes límites: al Norte con la provincia de Imbabura, Sur con las parroquias Calacalí, San Antonio de Pichincha y Perucho, al Este con la parroquia Atahualpa y al Oeste con la parroquia Nanegal, cuya superficie es de 30745,81 ha (GAD San José de Minas, 2015).

## 3.2 Caracterización edafoclimática del lugar

### 3.2.1 Suelo

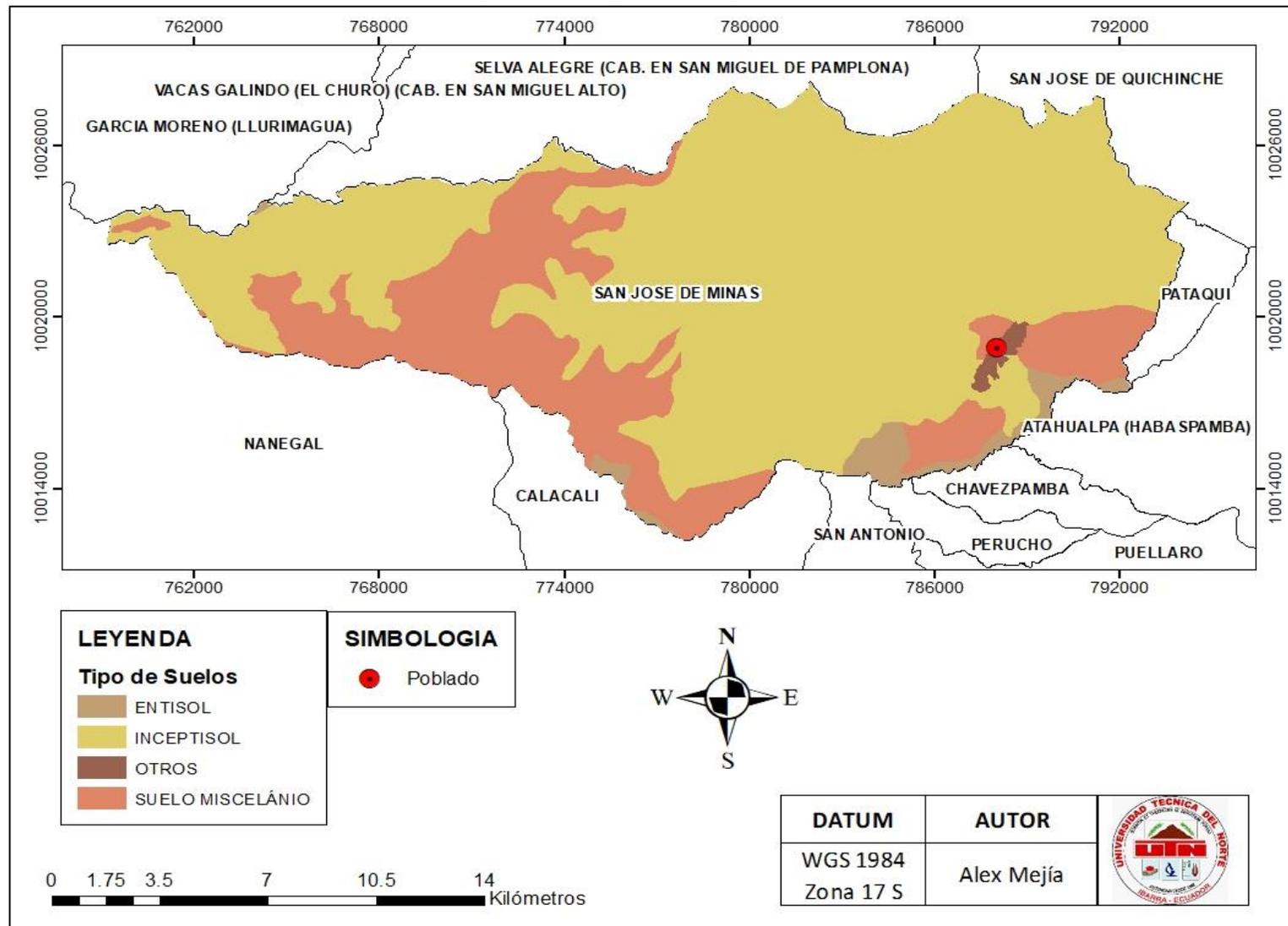
En concordancia a la taxonomía de los suelos se encuentran: Mollisoles que representa un 51.06% de la extensión del área de estudio, son suelos oscuros y suaves que se han desarrollado bajo una vegetación herbácea, su horizonte superficial es rico en humus como también en calcio y magnesio; los Inceptisoles en un 48.29%, que conforman suelos jóvenes poco desarrollados cuya presencia es habitual en climas húmedos, finalmente los Entisoles que poseen un porcentaje mínimo de 0.37%. Por otra parte, los subgrupos en un 0.10% conformados por ríos dobles y el área urbana que conforma un 0.18% (Sánchez, 2017, p.22). En la tabla 6, se detalla el área conformada por cada clasificación, como se puede evidenciar en el Anexo 1:

Tabla 6. Tipos de Suelo

Clasificación	Subgrupos	Área km <sup>2</sup>	Porcentaje
Entisoles		0.756	0.37
Inceptisoles		98.407	48.29
Suelo Misceláneo		104.047	51.06
	Área urbana Consolidada	0.369	0.18
	Ríos Dobles	0.204	0.10
	<b>TOTAL</b>	203.783	100.00

**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado de San José de Minas

Figura 2. Mapa de los tipos de suelo

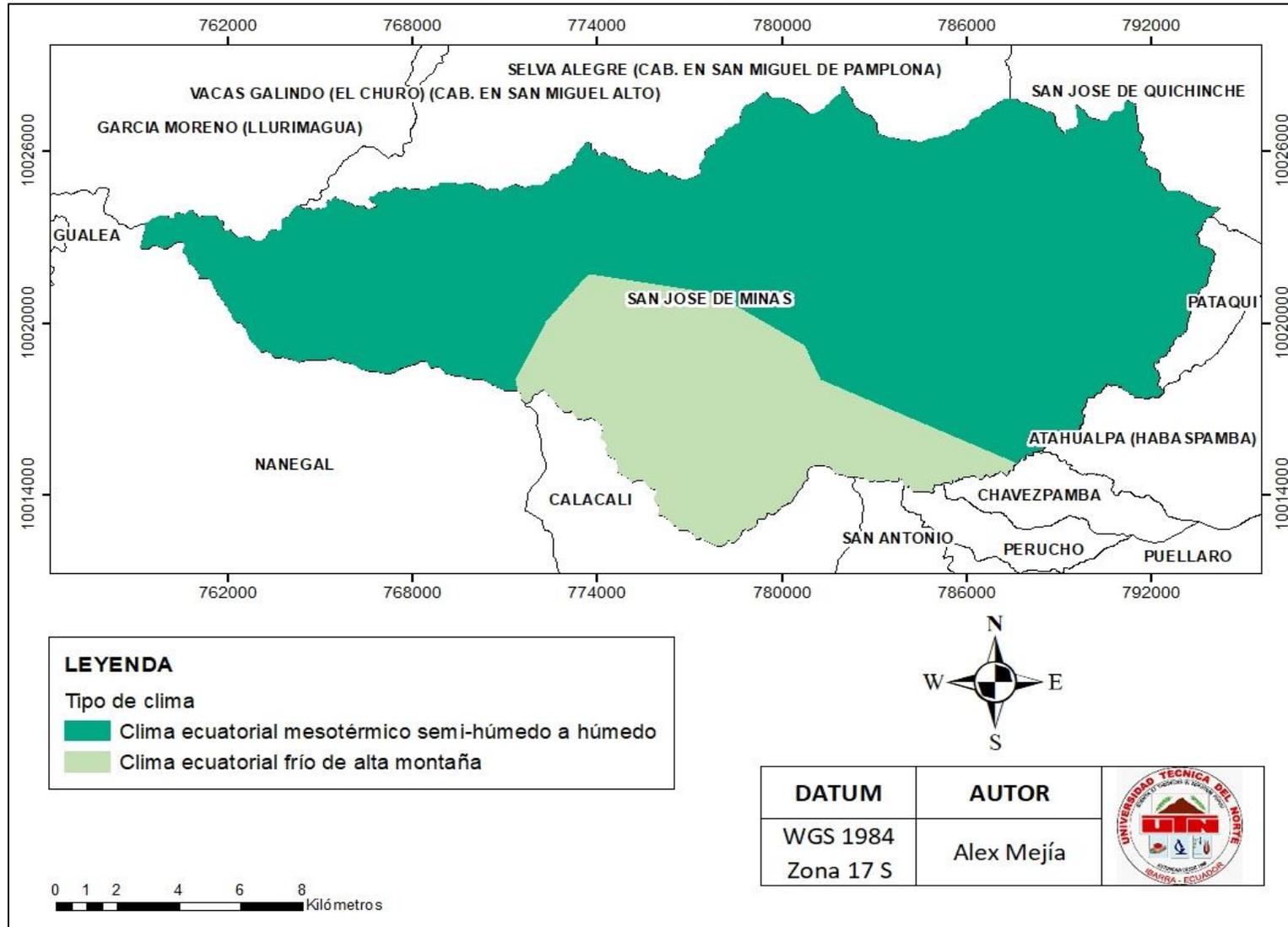


### 3.2.2 Clima

La parroquia San José de Minas cuenta con dos clasificaciones climáticas, las mismas que fueron planteadas por Porrou (1985, citado en Almeida, 2019) siendo las siguientes: clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo y clima ecuatorial mesotérmico de alta montaña, tal como se detalla en el Anexo 2.

- **Clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo:** Se encuentra asociado a los valles interandinos abrigados y de menor altitud, la temperatura media anual fluctúa entre los 12 y 20 °C con muy poca diferencia entre los meses secos y meses lluviosos. Las precipitaciones anuales se presentan de manera irregular con una fluctuación entre los 800 y 2000 mm dependiendo la altitud y exposición a las vertientes. Estos tipos de climas ocupa el 78.12% del territorio de la parroquia (Almeida, 2019).
- **Clima ecuatorial frío de alta montaña:** Se ubica por encima de los 3000 m.s.n.m. Presentan temperaturas que fluctúan entre 20 °C, como máximas y mínimas con valores inferiores a 0 °C lo que se presenta una media anual que va desde 4 y 8°C. Los valores pluviométricos anuales van entre los 800 a 2000 mm, se presentan lluvias de larga duración, pero, con baja intensidad. Este tipo de clima ocupa el 21.88% del territorio y se encuentra localizado en la zona nor-este de la parroquia (Almeida, 2019).

Figura 3. Mapa de los tipos de clima



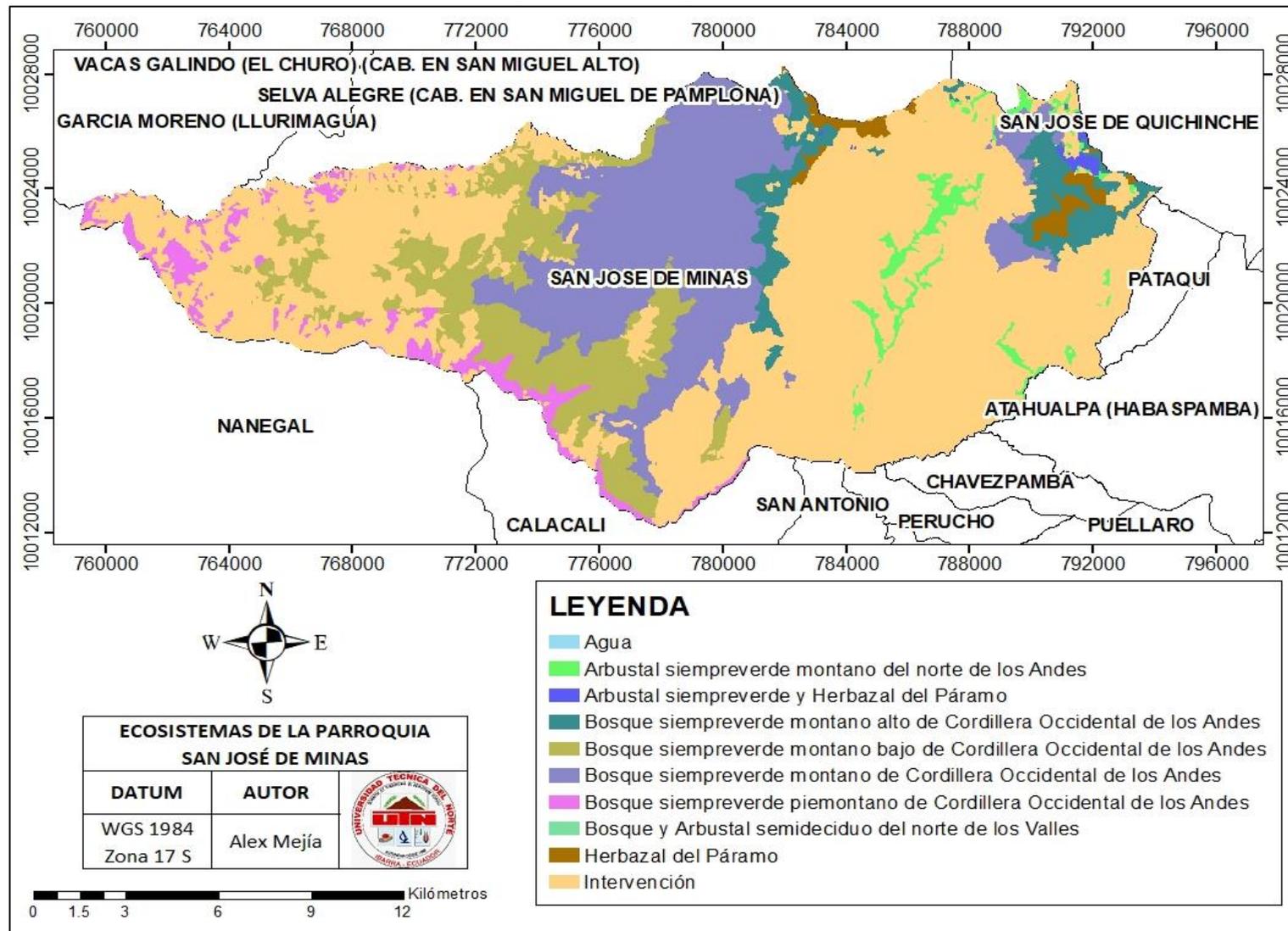
### 3.2.3 Ecosistema

De acuerdo con la clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental realizado por el Ministerio del Ambiente y Agua y Transición Ecológica del Ecuador, en la realización del GAD San José de Minas (2015) posee seis ecosistemas, los mismos que son:

- Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes
- Arbustal siempreverde y herbazal de páramo
- Bosque siempreverde montano alto de la cordillera occidental de los Andes
- Bosque siempreverde montano bajo de la cordillera occidental de los Andes
- Bosque siempreverde montano de la cordillera occidental de los Andes
- Bosque siempreverde piemontano de la cordillera occidental de los Andes

Como se indica en el Anexo 3.

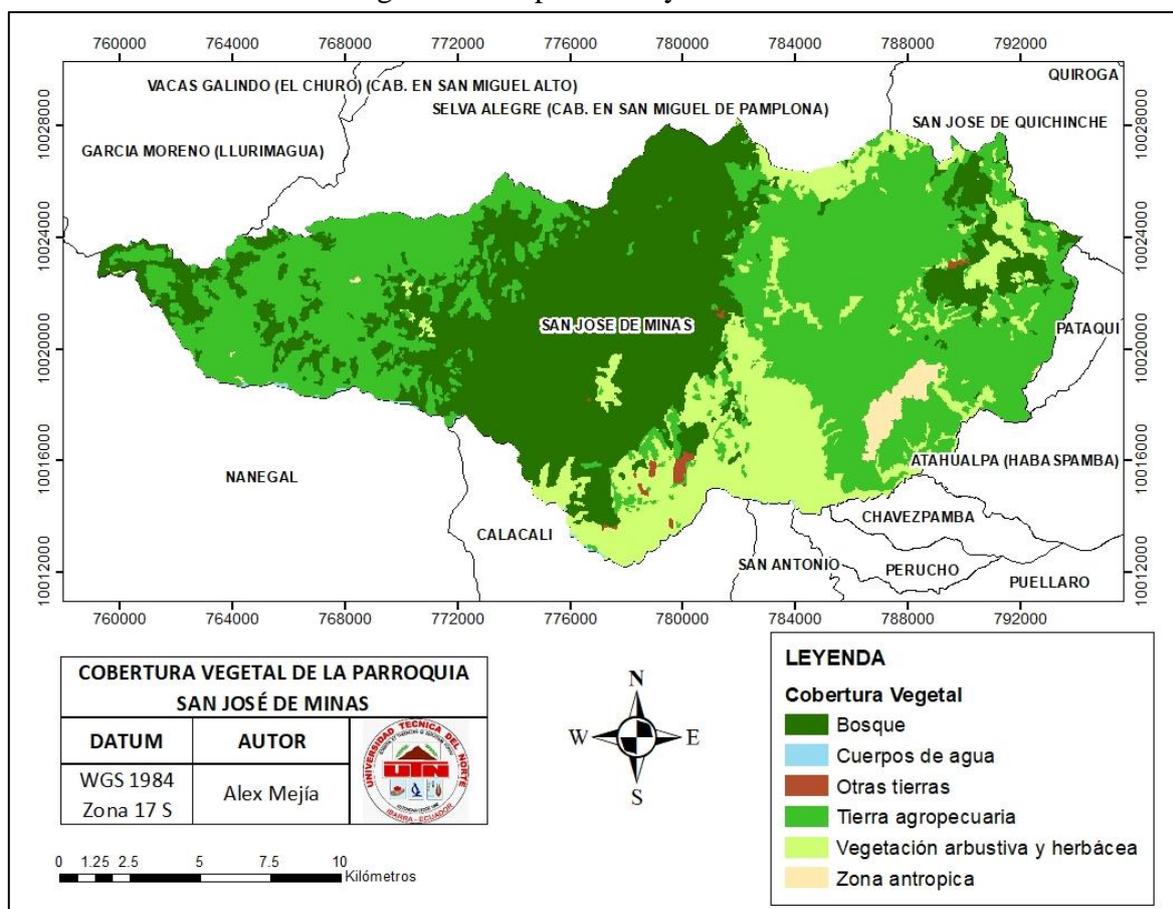
Figura 4. Mapa de ecosistemas



### 3.2.4 Uso del suelo y cobertura vegetal

En San José de Minas se tiene identificado cultivos, mosaicos agropecuarios, pastizales, bosques, áreas sin cobertura vegetal arbustiva y herbácea. Particularmente los cultivos y pastos mismos que ocupan un 25 y 14% respectivamente de la cobertura total de la parroquia (GAD San José de Minas, 2015). Así se puede ver en la figura 5.

Figura 5. Mapa de uso y cobertura del suelo



### 3.3 Materiales, equipos y software

Para poder realizar la investigación es necesario contar con los materiales, equipos y software apropiado citados en la Tabla 7. Es importante contar con el software adecuado ya que nos permitirá realizar los análisis estadísticos y multitemporales de la información obtenida.

Tabla 7. Materiales, equipos y software a emplear en la investigación.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Software</b>
Hoja de campo	GPS.	Microsoft Office.
Material de transferencia	Computador.	ENVI 5.3
Cartografía base	Cámara fotográfica.	ArcGis 10.5
Imágenes satelitales Landsat	Disco duro externo	Google Earth Pro

### 3.4 Metodología

#### 3.4.1 Universo.

En la presente investigación se identificó todos los incendios presentados en el periodo 2012-2018 en la Parroquia Rural San José de Minas. A continuación, se presenta el detalle del número de incendios presentados en el periodo de estudio. Tabla 8.

Tabla 8. Incendios periodo 2012-2018.

<b>Incendios periodo 2012-2018</b>		
<b>Año</b>	<b>Número Incendios</b>	<b>Área Total (ha)</b>
2012	332	611.90
2015	136	526.85
2017	5	15.16
2018	1	1.91
<b>Total</b>	474	1155.82

#### 3.4.2 Tamaño de la muestra

Para el desarrollo de la presente investigación se trabajará en función de las clases y años donde se presentaron los incendios forestales, sacando el tamaño de la muestra en base al número de incendios.

Para determinar el tamaño de la muestra se tomó como referencia la fórmula utilizada por Barojas (2005) donde menciona que para investigaciones donde la variable principal es de tipo cuantitativo y cuando la población es finita se utiliza la siguiente ecuación (Ec.1).

$$n = \frac{NZ^2 * pq}{d^2(N - 1) + Z^2 * pq}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra

$N$  = Población o universo

$Z$  = Nivel de confianza

$p$  = Probabilidad a favor

$q$  = Probabilidad en contra

$d$  = Error muestral

Para la determinación de la muestra se utilizó un nivel de confianza al 85% ( $Z= 1.036$ ), con un error muestral del 20% y como probabilidad a favor y en contra los valores de 0.5 respectivamente.

### 3.4.3 Muestreo

El método que se utilizara en la investigación es el muestreo probabilístico, Carrasquedo (2017) menciona que es un principio que se basa en la equiprobabilidad, debido a que cada elemento del universo tiene la misma probabilidad de formar parte de la muestra como de no serlo.

Para la determinación de la muestra se utiliza el muestreo aleatorio estratificado, Bencardino (2012) indica que es un procedimiento donde implica la división de la población en grupos, denominados estratos, el elemento que sea seleccionado es aquel que representa una característica definida que solo le permite pertenecer a un único estrato. (p.303)

Es de vital importancia para que la division de los grupos sea efectiva, los factores de estratificación deberán guardar estrecha relación con las características que se investigan y con el objetivo o finalidad del estudio.

Para definir los estratos de la población se tomo en cuenta la extensión del incendio, los mismos que fueron clasificados por F1 menores de dos hectáreas, F2 que estan entre dos a diez hectáreas y F3 mayores de diez hectáreas, propuesto por las Autoridades del DMQ. Se aplicó la (Ec. 1) para determinar la muestra por cada estrato.

$$n = \frac{NZ^2 * pq}{d^2(N - 1) + Z^2 * pq} = \frac{282 (1.036)^2 * (0.5)(0.5)}{0.2^2(282 - 1) + 1.036^2 * (0.5)(0.5)}$$

$$n = \frac{75.67}{11.50} = 7$$

$$\mathbf{n = 7}$$

Para maximizar el tamaño de la muestra el valor “n” obtenido anteriormente se ajustó por un factor de corrección por población finita. (Ec. 2)

$$n_2 = \frac{n_1}{1 + \frac{n_1}{N}}$$

Ec. 2

Donde:

$n_2$  = Número de sujetos necesarios que se extrae de la población finita.

$n_1$  = Número de sujetos necesarios calculado para poblaciones finitas.

$N$  = Tamaño de la población.

Aplicando la (Ec. 2), se tiene como muestra por estrato lo siguiente:

$$n_2 = \frac{n_1}{1 + \frac{n_1}{N}}$$

$$n_2 = \frac{7}{1 + \frac{7}{282}} = 6$$

$$\mathbf{n_2 = 6}$$

El proceso se repite en cada año de evaluación por cada estrato como se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación por estratos de los incendios y tamaño de la muestra, periodo 2012-2018

<b>Incendios año 2012</b>			
<b>Clase</b>	<b>Número</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Muestra</b>
F1	282	135.08	6
F2	44	164.11	5
F3	6	312.72	2
<b>Total</b>	<b>332</b>	<b>611.90</b>	<b>13</b>
<b>Incendios año 2015</b>			
F1	98	33.10	6
F2	26	120.85	4
F3	12	372.91	3
<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>526.85</b>	<b>13</b>
<b>Incendios año 2017</b>			
F1	3	4.02	1
F2	2	11.13	1
F3	0	0	0
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>15.16</b>	<b>2</b>
<b>Incendios año 2018</b>			
F1	1	1.91	1
F2	0	0	0
F3	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1.91</b>	<b>1</b>

### 3.4.4 Diseño experimental

La presente investigación fue de carácter no experimental, debido a que se toma en cuenta procesos que se llevan a cabo para la realización del análisis multitemporal y la determinación del estado de la cobertura vegetal de las áreas afectadas por incendios forestales; mismos que se detallan a continuación:

#### 3.4.4.1 Obtención de las imágenes satelitales

Para el estudio del análisis multitemporal, se descargaron imágenes multitemporales, mismas que son obtenidas a través de los servidores de la USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) de los satélites Landsat 7 y 8, con el Path/Row de 10/60, tal como se lo indica en el Anexo 4.

Las imágenes multitemporales que se utilizaron en la presente investigación corresponden al periodo 2012 – 2018, cuyas fechas varían de acuerdo con el porcentaje de nubosidad en la zona de estudio, mismas que se encuentran detalladas en el Anexo 5. Es importante mencionar que una vez identificadas las imágenes se realizó la descarga “GeoTIFF Data Product”, ya que en ese paquete de datos se encuentran las bandas que fueron utilizadas en el estudio.

#### 3.4.4.2 Preprocesamiento de las imágenes satelitales

Una vez descargadas las imágenes satelitales, se realizó un tratamiento digital previo, donde consiste en hacer una corrección geométrica y radiométrica de las que permitan posteriormente el respectivo análisis multitemporal.

- a) Para la realización de la corrección geométrica se utilizó el método por puntos de control con el cual se pretende ajustar la imagen obtenida con otra imagen georeferenciada la misma que se la usa como referencia. Este tipo de correcciones no afecta a las características radiométricas del píxel, y está basado en funciones numéricas (Chuvieco, 1995). (Ec.3)

$$f(c') = f_1(c, l)$$

$$f(l') = f_2(c, l)$$

Ec.3

Donde:

$(c', l')$  = Son las coordenadas en columna y línea de la imagen corregida.

$(c, l)$  = Son las coordenadas en fila y columna de la imagen de entrada.

- b) En cuanto a la corrección radiométrica de las imágenes se utilizó el software ENVI 5.3, con el uso del formato “Metadata” de la imagen satelital, donde con la ayuda de las herramientas “Radiometric Calibration” y “FLAASH Atmospheric Correction”, se accede a la transformación de los datos que están expresados en “Reflectancia” a “Radiancia”, para que así se admita el cálculo de los diferentes índices espectrales.

#### 3.4.4.3 Identificación de los tipos de cobertura vegetal

Una vez que las imágenes fueron tratadas anteriormente, se procedió al cálculo del Índice Normalizado de Variación de la Vegetación pre-incendio (NDVI). (Ec.4)

$$NDVI_i = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,R}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,R}}$$

Ec. 4

Donde:

$\rho_{i,IRC}$  y  $\rho_{i,R}$  = Indican las reflectividades del píxel i en la banda del infrarrojo cercano y del rojo, respectivamente.

Los resultados obtenidos del cálculo del NDVI, generan rangos que van desde valores de +1 (cobertura vegetal densa) y -1 (no presenta cobertura vegetal), detallados en la Tabla 10.

Tabla 10. Rangos del Índice Normalizado de Variación de la Vegetación

Rangos NDVI	Característica	Color
NDVI < 0	Corresponde a agua o cubiertas artificiales.	
0 < NDVI < 0.2	Corresponde a suelo desnudo o vegetación muerta.	
0.2 < NDVI < 0.4	Corresponde a vegetación dispersa o poco vigorosa.	
0.4 < NDVI < 0.6	Corresponde a vegetación abundante y vigorosos	
NDVI > 0.6	Corresponde a vegetación muy densa y vigorosa.	

Fuente: Generalitat de Catalunya (s.f.)

De acuerdo con los resultados obtenidos del NDVI es importante realizar una clasificación no supervisada para comprobar que los datos arrojados por el índice sean correctos, esto se lo realizo con la ayuda del software ArcGis 10.5 y una imagen satelital, la misma que servirá como información base para determinar los diferentes tipos de cobertura vegetal presente en el área de estudio.

#### 3.4.4.4. Identificación de áreas afectadas por incendios forestales

Para la caracterización de las áreas afectadas por los incendios forestales se aplicaron distintas técnicas utilizadas por (Columba *et al.*, 2016) que permitieron la identificación y extracción de áreas quemadas con el uso de índices espectrales para la discriminación de áreas quemadas.

- *Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)*: Está diseñado para resaltar las áreas quemadas en grandes zonas. (Ec.5)

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Ec. 5

Donde:

**NIR** = Banda de onda infrarrojo cercano (0.75 – 0.90 μm).

**SWIR** = Banda de infrarrojo de onda corta (2.09 – 2.35 μm).

En el Anexo 6, se representa la comparación del porcentaje de reflectancia entre las bandas NIR y SWIR, donde si presenta un porcentaje alto de las bandas NIR y un bajo porcentaje de reflectancia de las SWIR representa que es una vegetación sana, mientras que lo contrario indica áreas devastadas por el fuego. Es importante realizar el cálculo de este índice antes y después del incendio, ya que con esos resultados permite identificar la severidad del fuego mediante el diferencial NBR.

- *Severidad del Fuego (dNBR)*: Para la determinación de la severidad del fuego se realizó la diferencia entre el NBR previo y posterior al incendio obtenido de las imágenes satelitales, donde se obtuvo como resultado el diferencial NBR, que es usado para estimar la severidad del incendio. (Ec.6)

$$dNBR = PrefireNBR - PostfireNBR$$

Ec. 6

Los valores de dNBR pueden variar de un caso a otro, sin embargo, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) propuso una tabla de clasificación para interpretar la gravedad de la quemadura. Tabla 11

Tabla 11. Niveles de severidad en incendios obtenidos a partir del dNBR

Nivel de Severidad	dNBR Rango (escala por 10 <sup>3</sup> )	dNBR Rango (sin escala)
Rebote mejorado, alto (post-incendio)	-500 a -251	-0.500 a -0.251
Rebote mejorado, bajo (post-incendio)	-250 a -101	-0.250 a -0.101
Sin quemar	-100 a +99	-0.100 a +0.99
Baja severidad	+100 a +269	+0.100 a +0.269
Moderada- baja severidad	+270 a +439	+0.270 a +0.439
Moderada- alta severidad	+440 a +659	+0.440 a +0.659
Alta severidad	+660 a +1300	+0.660 a +1.300

Fuente: USGS

- *Índice de Área Quemada (IAQ o BAI)*: Diseñado para la identificación de áreas quemadas, basándose en el comportamiento espectral de los materiales carbonizados y de las cenizas, producidos tras un incendio. (Ec.7)

$$BAI = \frac{1}{(pc_r - \rho_r)^2 + (pc_{nir} - \rho_{nir})^2}$$

Ec. 7

Donde:

$\rho_{nir}$  y  $\rho_r$  = Indican las reflectividades de las bandas del infrarrojo cercano y del rojo respectivamente.

$pc_r$  y  $pc_{nir}$  = Son los denominados valores de convergencia para áreas recientemente quemadas, definidos como 0.1 y 0.06, respectivamente.

El Índice de Área Quemada fue formulado específicamente para la discriminación de áreas quemadas, donde el resultado es combinado con el índice NBR presentando un valor mínimo en cada índice de acuerdo con la Tabla 9, del índice NBR.

Una vez que se identificaron las áreas afectadas por incendios forestales, se realizó la validación de los resultados en base a la información generada por el Cuerpo de Bomberos

del DMQ, donde los datos se presentan en formato shape y cuentan con las coordenadas específicas donde ocurrió el evento adverso Anexo 7.

#### 3.4.4.5 Estado de la cobertura vegetal

Para evaluar el estado de la cobertura vegetal a causa de incendios forestales en el periodo 2012-2018, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Se realizó el cálculo del Índice Normalizado de Variación de la Vegetación post-incendio (NDVI) teniendo como base las imágenes satelitales Landsat, siguiendo lo descrito anteriormente.
- b) Con los resultados del NDVI pre y post incendio, se aplicó el cálculo del diferencial del NDVI, mismo que nos representó la actividad fotosintética presente en el área afectada por el incendio forestal. Tabla 12

Tabla 12. Rangos de la actividad fotosintética del índice NDVI

Actividad fotosintética	Rango
Nula	< 0
Muy baja	0 a 0.1
Baja	0.1 a 0.2
Media	0.2 a 0.3
Media-Alta	0.3 a 0.4
Alta	0.4 a 0.6
Muy Alta	> 0.6

Fuente: Navazo *et al.* (2015)

- c) Una vez que se logró determinar la actividad fotosintética del área afectada fue necesario validarla, con lo que es de vital importancia realizar una clasificación supervisada de la información obtenida.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

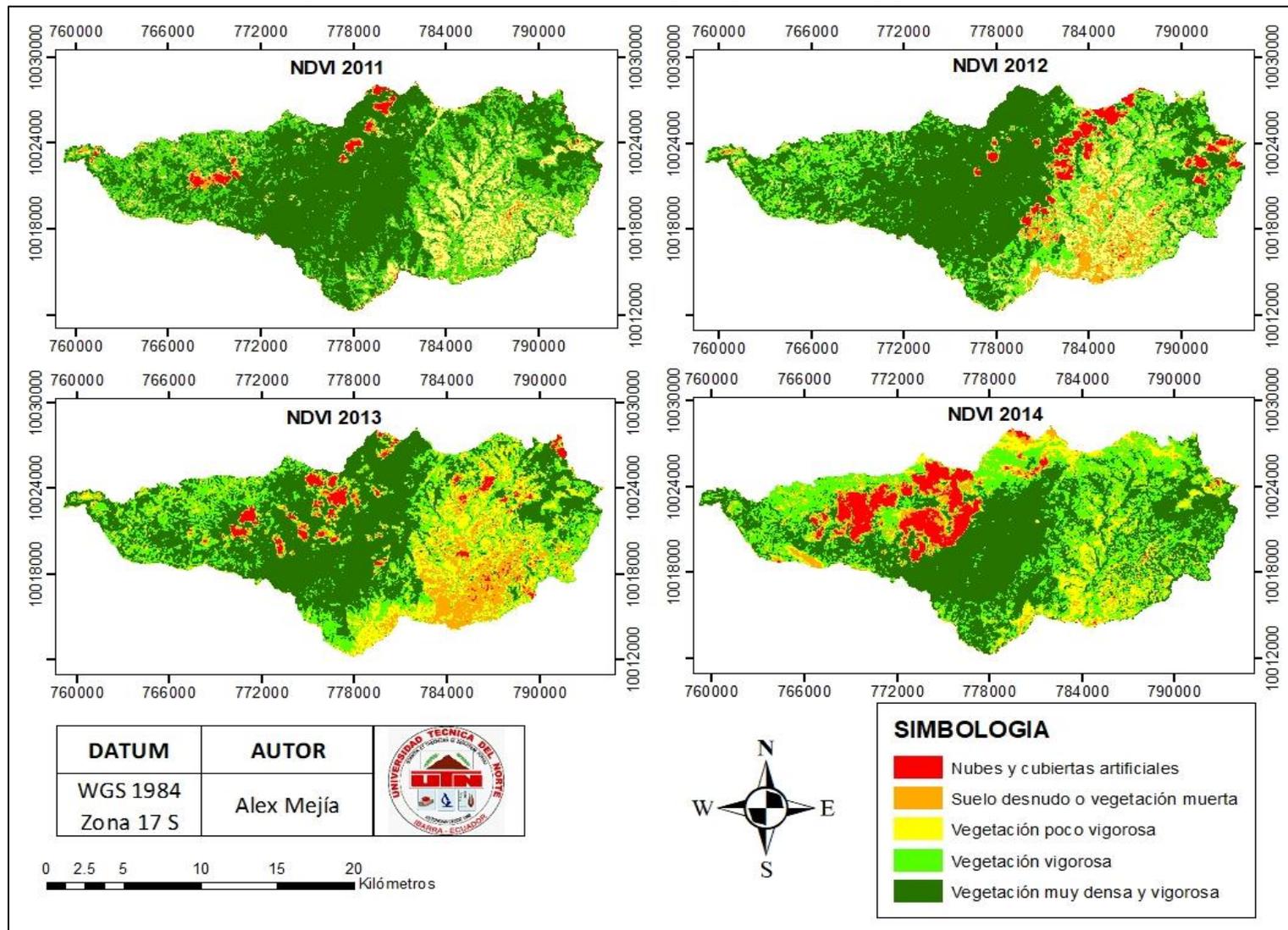
#### **4.1. Identificación de las áreas afectadas por incendios forestales en el periodo 2012-2018**

##### **4.1.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

De acuerdo con el análisis efectuado en las imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y 8 OLI, cuyas fechas están detalladas en el Anexo 4. Se identificó el estado de la cobertura vegetal previo y posterior al incendio forestal de un área total de 30745.82 ha. Se encontraron cinco categorías en base al Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña, mismas que se encuentran detalladas en la figura 6, resultado que concuerda con la investigación realizada por Alphan y Derse (2012, p.15), afirman que el NDVI indica la presencia / ausencia y vigor de la vegetación. Por lo tanto, su comparación puede proporcionar información sobre los cambios cuantitativos y cualitativos en la cobertura del suelo.

De acuerdo con Michalijos y Uboldi (2013) (Michalijos & Uboldi, 2013), mencionan que mientras mayor sea el resultado, mayor vigor presenta la vegetación, mismas que se representan con colores que van desde los rojos a amarillos y verdes con imágenes libres de nubosidad. Sin embargo, en el presente caso, por la ubicación geográfica del área de estudio y al existir altos niveles de nubosidad se tomo en cuenta una categoría donde se representa la presencia de estas, así se puede ver en la figura 6. Cabe señalar que las nubes no interfirieron sobre los incendios forestales registrados previamente en las imágenes.

Figura 6. Estado de la cobertura vegetal pre-incendio y post-incendio





De manera que al calcular el NDVI por cada año de estudio, se logró determinar que el estado de la cobertura vegetal ha ido cambiando con el paso del tiempo. Principalmente en zonas donde existe la presencia de tierras agropecuarias y vegetación arbustiva, por tal razón presentándose en el año 2015 un área de 4848.57 ha de suelo desnudo o vegetación muerta, a diferencia del año 2016 donde ocupó un área de 3713.55 ha, teniendo una reducción a diferencia del año 2015 de 1135.02 ha, espacios que fueron convirtiéndose a suelos con vegetación poco vigorosa.

#### 4.1.2. Clasificación no supervisada y supervisada

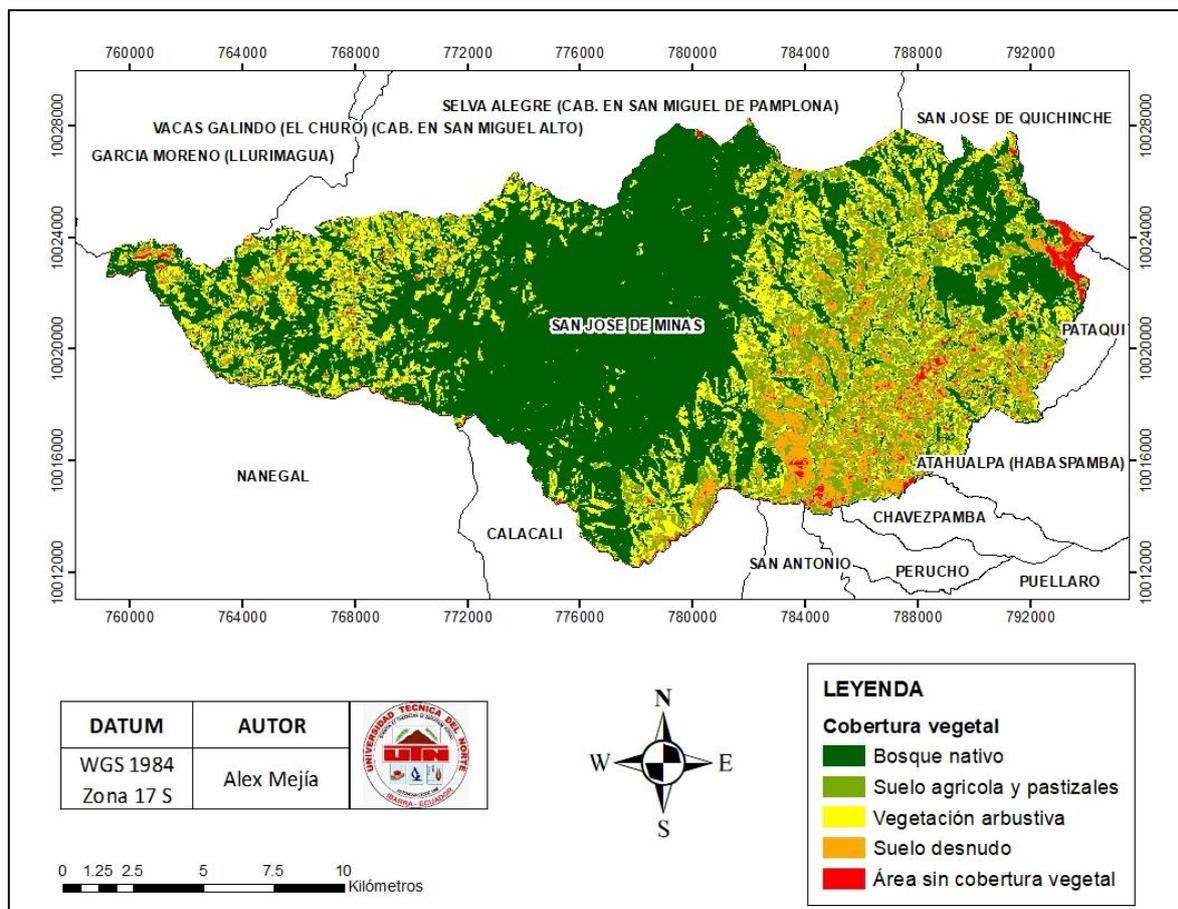
Para la identificación de los tipos de cobertura vegetal presentes en el área de estudio se aplicó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con la imagen satelital del año 2018, misma que presenta un bajo porcentaje de nubosidad que permite la identificación de cinco tipos de coberturas vegetales, detallados en la Tabla 13.

Tabla 13. Tipos de cobertura vegetal

<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque nativo	17176.44	55.87
Vegetación arbustiva	6325.43	20.57
Suelo agrícola y pastizales	4643.68	15.10
Suelo desnudo	2130.08	6.93
Áreas sin cobertura vegetal	470.18	1.53
<b>Total</b>	<b>30754.81</b>	<b>100</b>

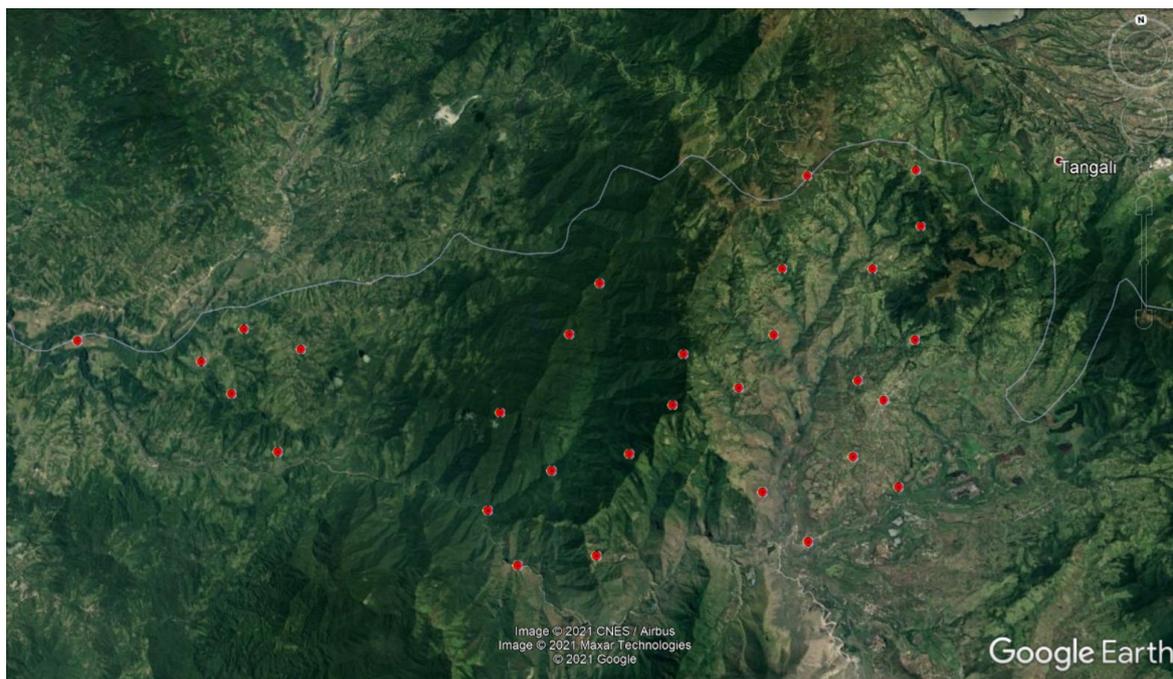
En lo referente a: “bosque nativo”, “vegetación arbustiva” y “suelo agrícola y pastizales” son las coberturas que mayor territorio ocupan en la parroquia. Tal como se puede evidenciar en la figura 7.

Figura 7. Cobertura Vegetal Identificada



Con el uso de la imagen satelital del año 2018 de alta definición de la plataforma de Google Earth Pro, permitió la ratificación de la cobertura vegetal identificada anteriormente con la aplicación del Coeficiente de Kappa, así se muestra en la figura 8.

Figura 8. Puntos de control georreferenciados



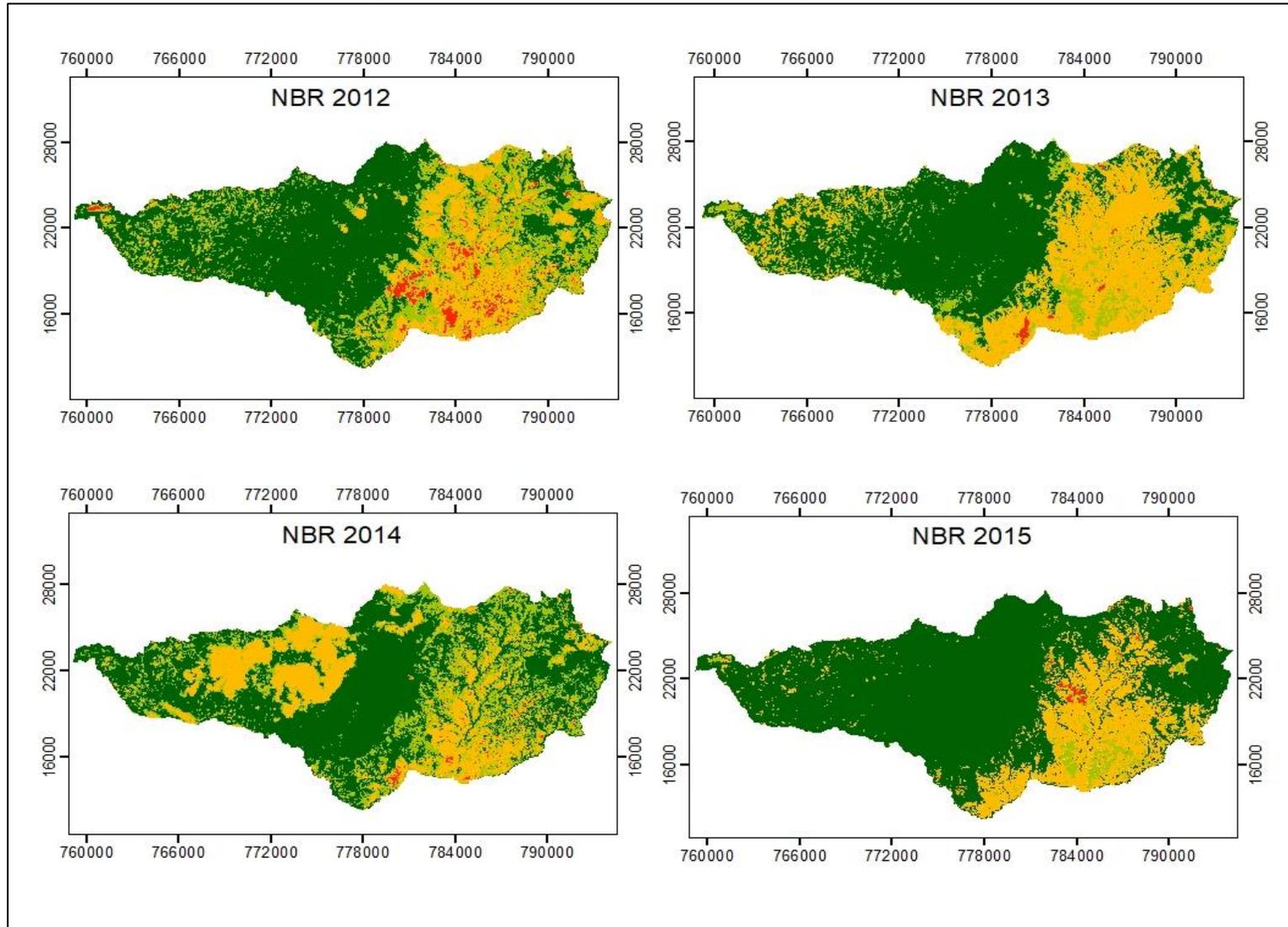
Dando como Coeficiente de Kappa un porcentaje de 0.58 de precisión general en la identificación de los tipos de cobertura vegetal, valor que presenta un resultado de concordancia moderada de acuerdo con Altman (1991, citado en Torres y Perera, 2009).

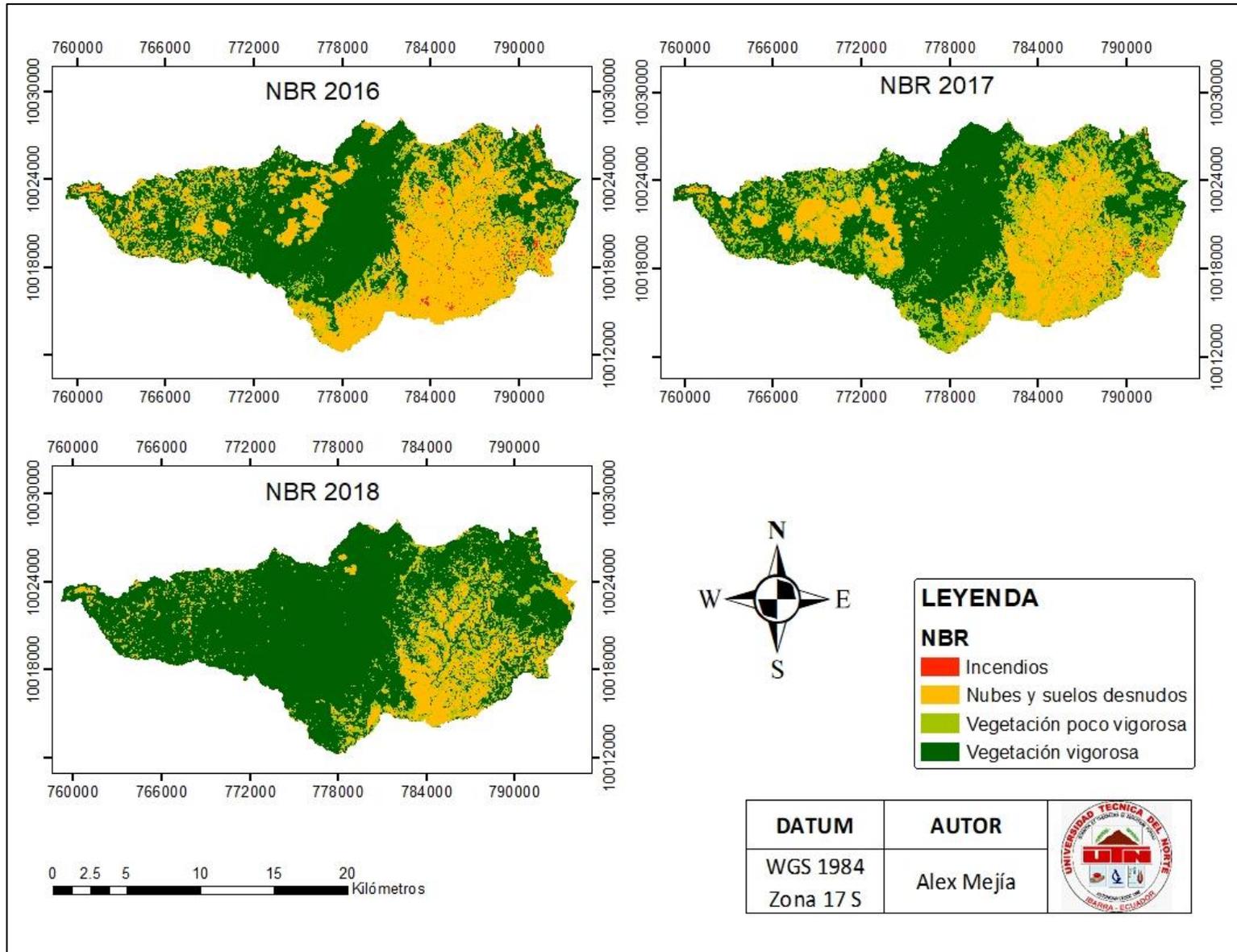
Sin embargo, fue necesario tomar en cuenta que, para la validación mediante el uso de imágenes satelitales de alta definición, Arozarena *et al.* (2016), indica que una de las técnicas más empleadas es el método ISODATA, donde se debe realizar una definición de clases espectrales como las obtenidas en la presente investigación teniendo así una clasificación definida, como se muestra en la figura 7.

#### 4.1.3. Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)

Con el uso de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y 8 OLI con fechas detalladas en el Anexo 4, se identificó los incendios forestales mediante la aplicación del índice NBR, cuyos valores van de 1 a -1, como se indica en la figura 9, siendo este último indicador de la presencia de incendios forestales en el área de estudio reflejados con el color rojo.

Figura 9. Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)





**LEYENDA**

**NBR**

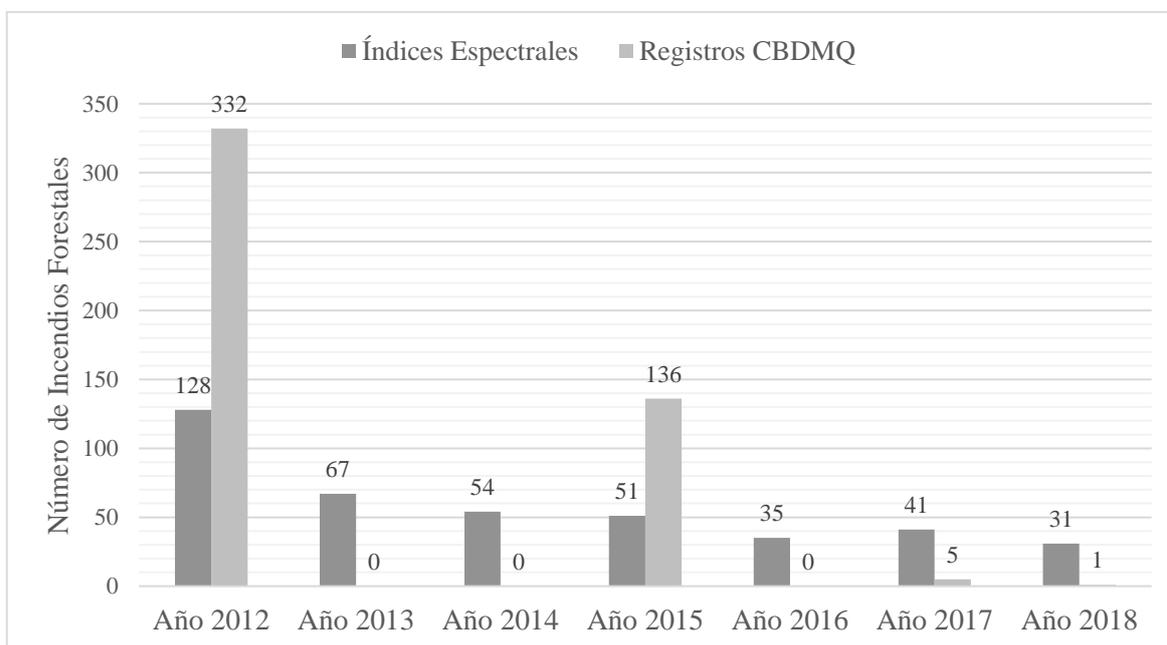
- Incendios
- Nubes y suelos desnudos
- Vegetación poco vigorosa
- Vegetación vigorosa

<b>DATUM</b>	<b>AUTOR</b>	
WGS 1984 Zona 17 S	Alex Mejía	

Guillem-Cogollos *et al.* (2017), mencionan que el índice NBR tiene un grado de similitud con el NDVI, ya que presentaron valores que van en los rangos de -1 a 1 como lo indica la figura 10; con ello, se afirma lo expuesto por Escuin *et al.* (2008) que para obtener resultados optimos en la identificación de incendios forestales es importante seleccionar el índice cuya capacidad sea mayor para la evaluación de la severidad del fuego, aseverando que el Índice NBR posee una mejor respuesta para el estudio de incendios forestales ya que se utiliza bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo cercano de onda corta.

En base a la aplicación de este índice se logró identificar 407 incendios forestales, en el periodo 2012 – 2018 en la parroquia rural de San José de Minas, resultado de la discriminación en el software ArcGis 10.5 con base a imagenes satelitales de cada año ya que el índice registraba áreas sin cobertura vegetal o superficies artificiales, mismas que no correspondian a áreas afectadas por dichos eventos adversos. En tanto que el Cuerpo de Bomberos del DMQ registró 474 flagelos. Tal como se puede ver en la figura 10.

Figura 10. Número de Incendios Forestales identificados en el periodo 2012 – 2018

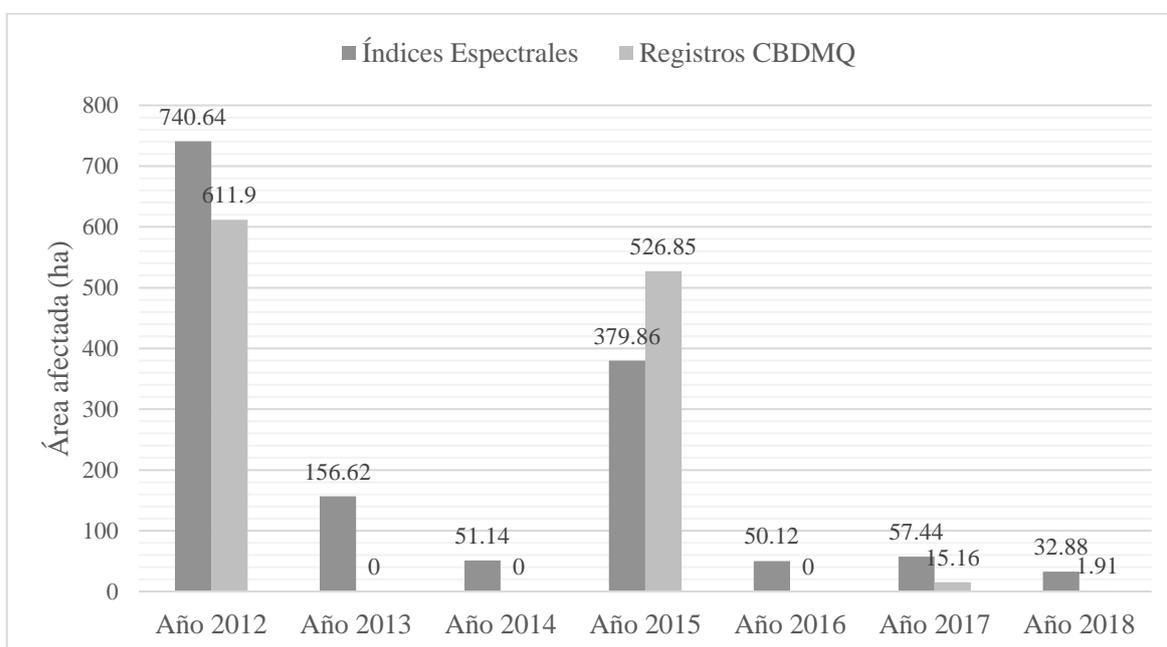


En base a los resultados obtenidos se observó que existe una gran diferencia en el registro de incendios forestales en el año 2012 como también en el 2015, debido a que la información levantada por el Cuerpo de Bomberos del DMQ registró la frecuencia de dichos eventos adversos formando polígonos superpuestos en la misma área afectada.

Sin embargo, es importante mencionar que con el uso del Índice NBR se logro reconocer dichos sucesos con exactitud, como tambien el registro de incendios en los otros años de estudio ya que fueron en su mayoria incendios clasificados como “F1” donde su extensión es inferior a dos ha. y “F2” entre dos a diez ha.

También es importante tomar en cuenta que se registro el área total afectada con el uso del Índice NBR mismo que fue de 1468.70 ha, a diferencia del registro llevado por el Cuerpo de Bomberos del DMQ que fue de 1155.82 ha, detallados en la figura 11.

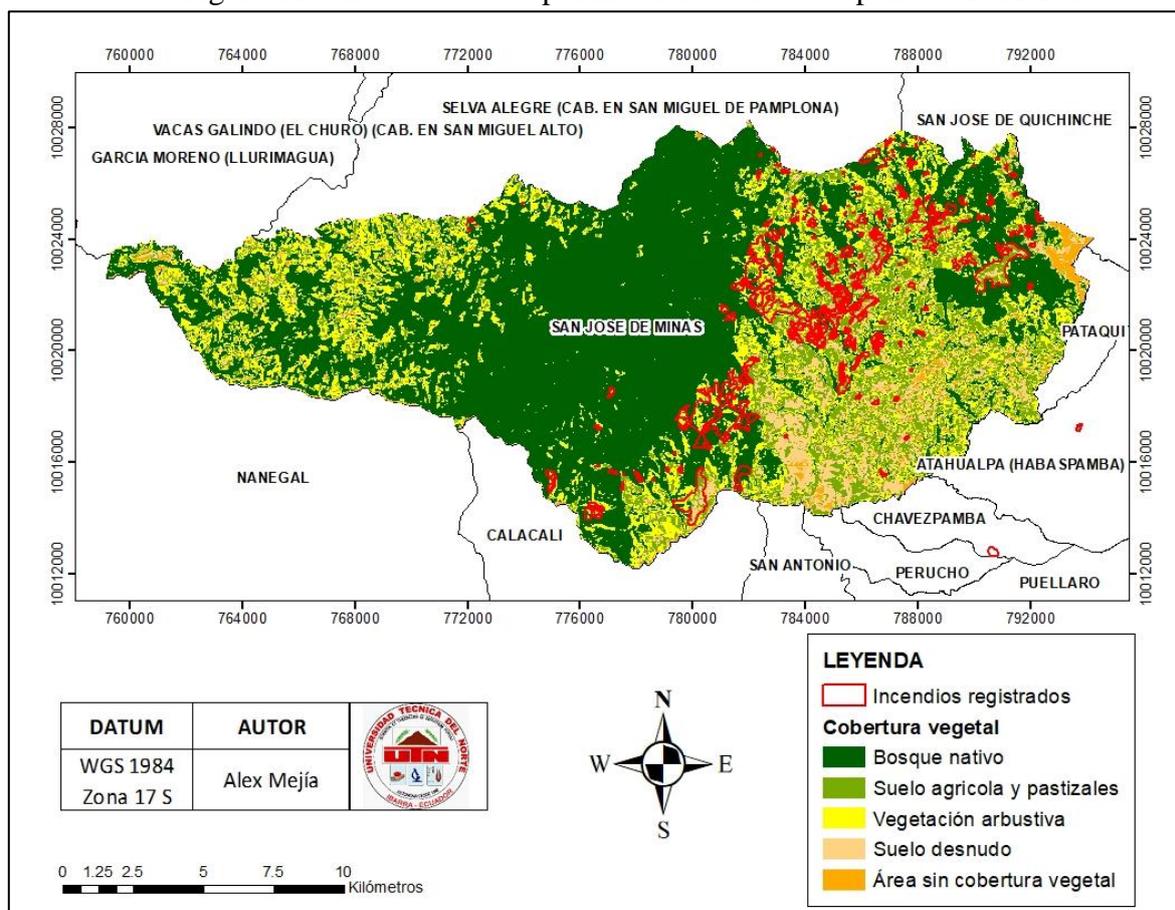
Figura 11. Áreas afectadas en el periodo 2012 – 2018



En esta figura, se tiene que en el año 2012 y 2015 las áreas afectadas registradas por el Índice NBR son mayores a las reconocidas por el Cuerpo de Bomberos del DMQ, debido a que los poligonos obtenidos por dicho indice estan corregidos. Con ello, se evitan sobre posiciones de los mismos que genera un poligono total del área afectada por incendios forestales.

Los eventos adversos en su gran mayoria se presentan en zonas donde se encuentran intervenidas por actividades agricolas y ganaderas, como se puede ver en la figura 12. Esto se determinó en base al mapa de cobertura vegetal obtenido del Índice NDVI de la imagen satelital del año 2018.

Figura 12. Áreas afectadas por incendios forestales periodo 2012-2018



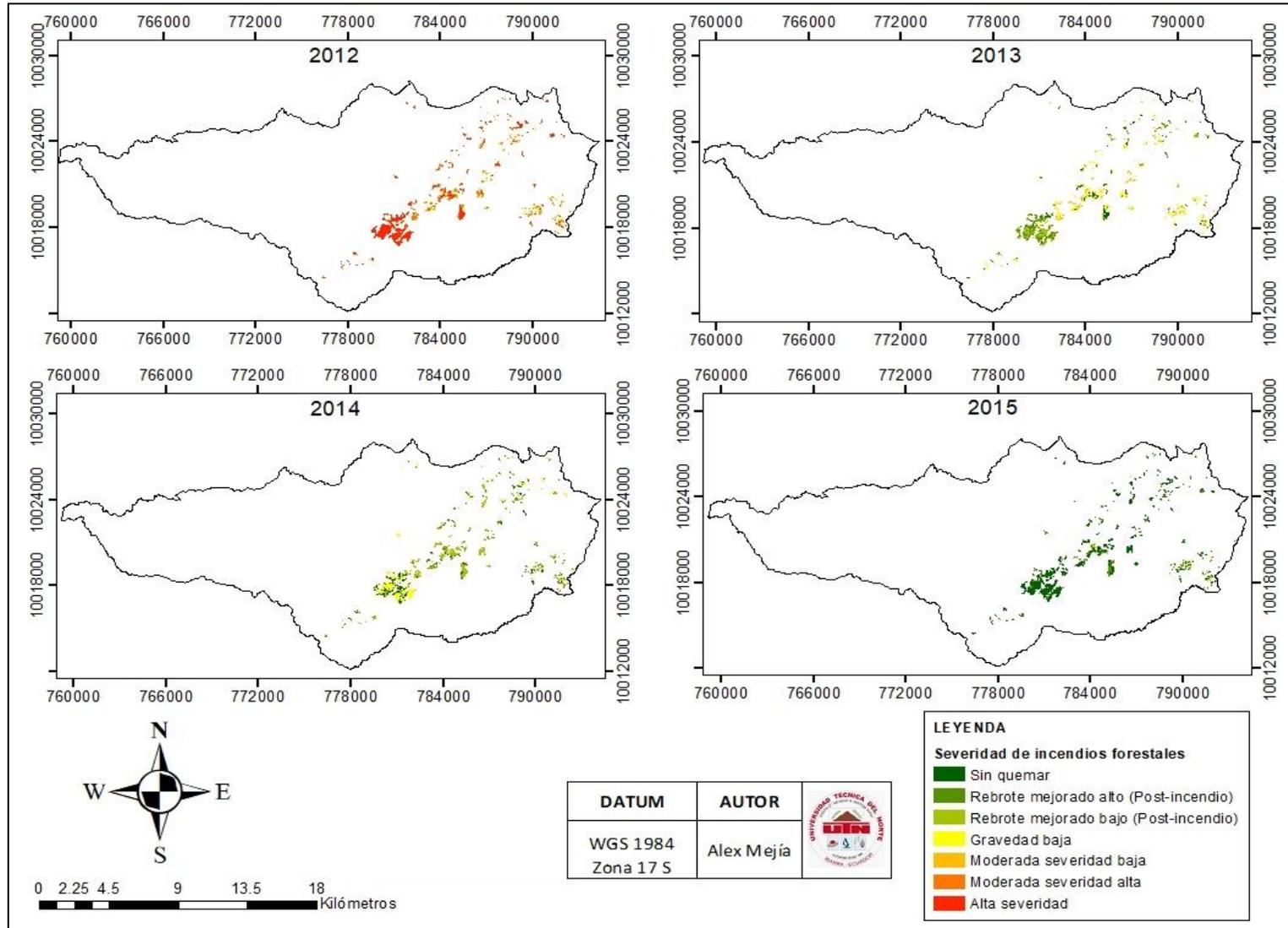
Como se puede observar en esta figura, las áreas ocupadas por suelos agrícolas y pastizales que corresponden al 15.10% del territorio de la parroquia, convirtiéndose en las zonas más afectadas por incendios forestales en una extensión de 482.88 ha, debido a la aplicación del fuego como instrumento de quemas prescritas, pero que no son controladas con regularidad. Se suma a ello el cambio de uso de suelo ocasiona graves daños a la vegetación aledaña del sector.

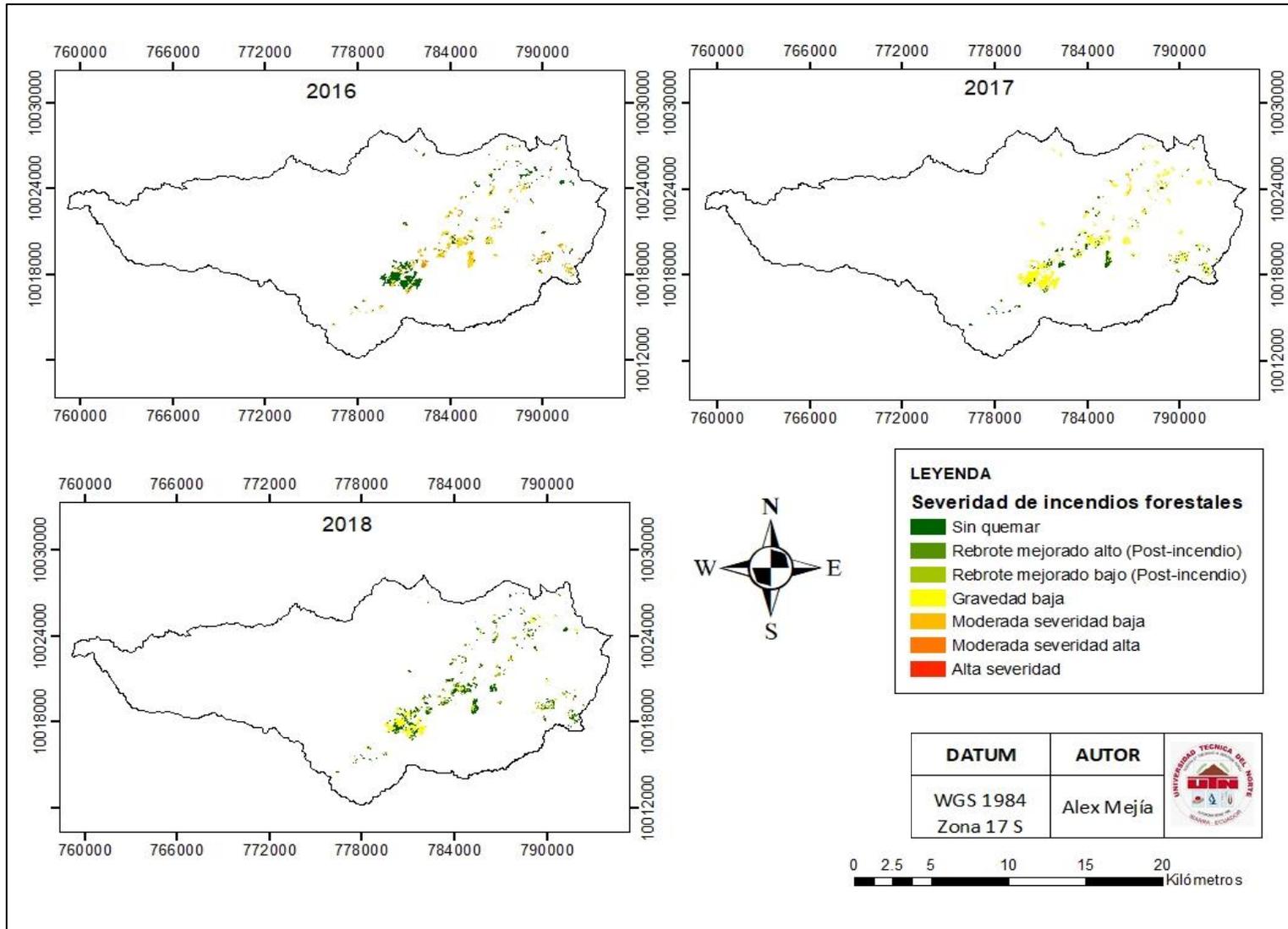
## 4.2. Evaluación del estado de la cobertura vegetal en el periodo 2012-2018.

### 4.2.1. Severidad del fuego

Para determinar el estado de la cobertura vegetal posterior al incendio forestal es importante obtener el nivel de severidad con la que sucedió dicho evento adverso, para ello se realizó un análisis de severidad de los incendios suscitados en el año 2012 para su posterior evaluación de recuperación de la cobertura vegetal al año 2018. Así se detalla en la figura 13.

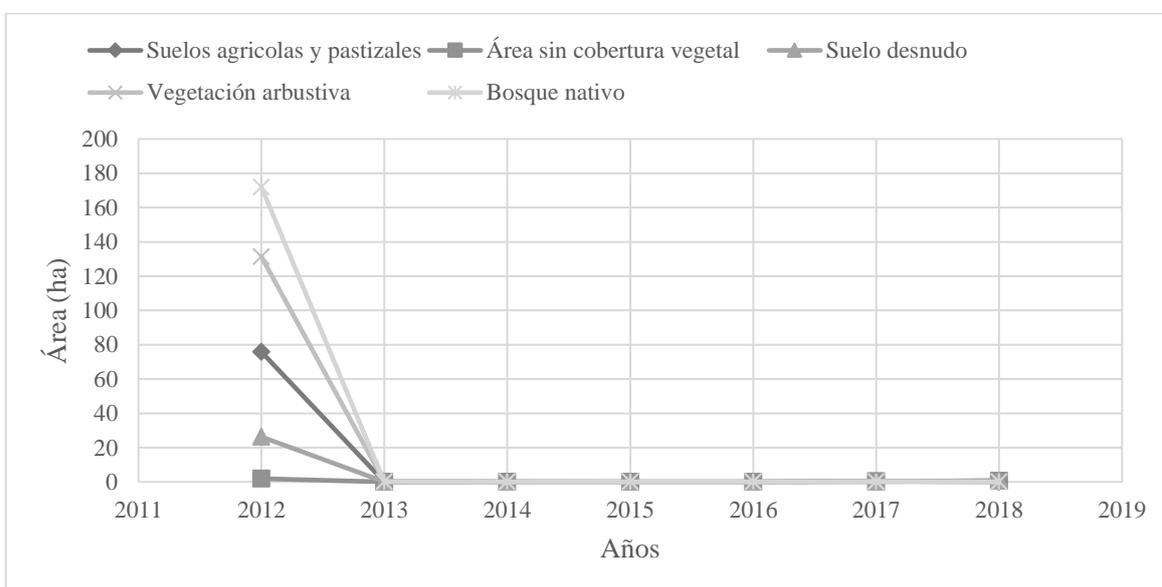
Figura 13. Severidad de los incendios forestales 2012-2018





De acuerdo al estudio realizado por la USGS el cual se encuentra detallado en la Tabla 11, dio como resultado que gracias a la aplicación del Diferencial del Índice NBR (dNBR) se obtuvo que en el año 2012 se produjeron la mayor cantidad de incendios forestales, presentándose niveles de severidad altos. Así indica la figura 14, que contrasta con el estudio efectuado por Escuin *et al.* (2008) donde señala que los valores más bajos del dNBR corresponden a la clase no quemada, valores intermedios a la clase moderada y los píxeles con los valores más altos de dNBR corresponden a la clase extrema o severidad alta de incendios forestales.

Figura 14. Gráfico de Alta Severidad



En esta figura, se puede observar las coberturas más afectadas por incendios cuya severidad registrada fue alta donde el bosque nativo, vegetación arbustiva y suelos agrícolas y pastizales han sido las más perjudicadas que se han afectado extensiones de 171.93 ha, 131.3 ha y 75.82 ha, respectivamente. Confirmando así que los resultados de Escuin *et al.* (2008) concuerdan con los obtenidos en la investigación, así también, con lo mencionado por Boelman *et al.* (2011) en la importancia del dNBR para la detección remota de cicatrices de incendios forestales en el oeste de EE.UU.

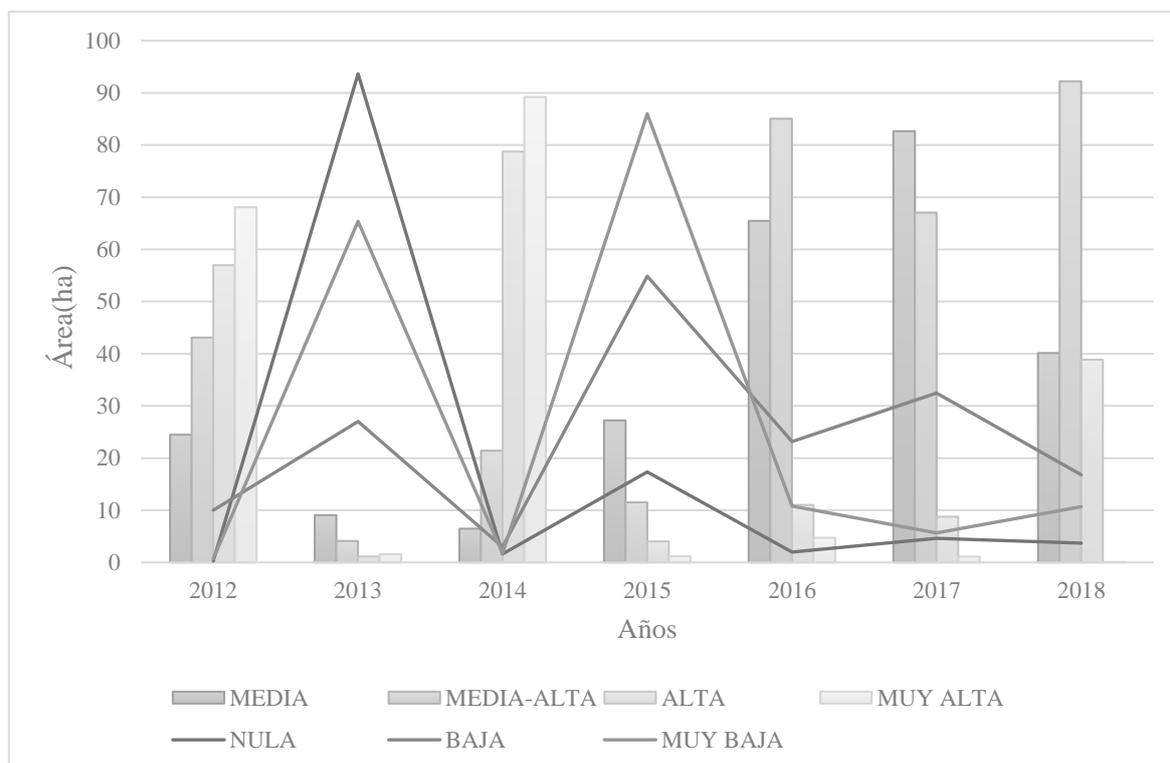
#### 4.2.2. Estado de la cobertura vegetal

En la evaluación del estado de la cobertura vegetal es importante conocer cuáles fueron las áreas más afectadas durante el incendio forestal de acuerdo con su intensidad, tomando como

base que en el año 2012 fue donde se registró el mayor número de flagelos cuya severidad fue alta.

En el bosque nativo la actividad fotosintética es severamente afectada por siniestros como se puede ver en la figura 15, que en el año 2013 la actividad fotosintética es nula debido que en el año 2012 tuvo una afectación de 171.93 ha, de bosque nativo, como consecuencia de los incendios forestales. Sin embargo, en los próximos años la recuperación de dicha cobertura varía de acuerdo a la presencia de especies forestales heliófilas y esciófilas, en el primer caso es mayor en el año 2014 presenta un área de 89.22 ha debido a que existe una mayor concentración de luz solar.

Figura 15. Actividad Fotosintética (Bosque Nativo)



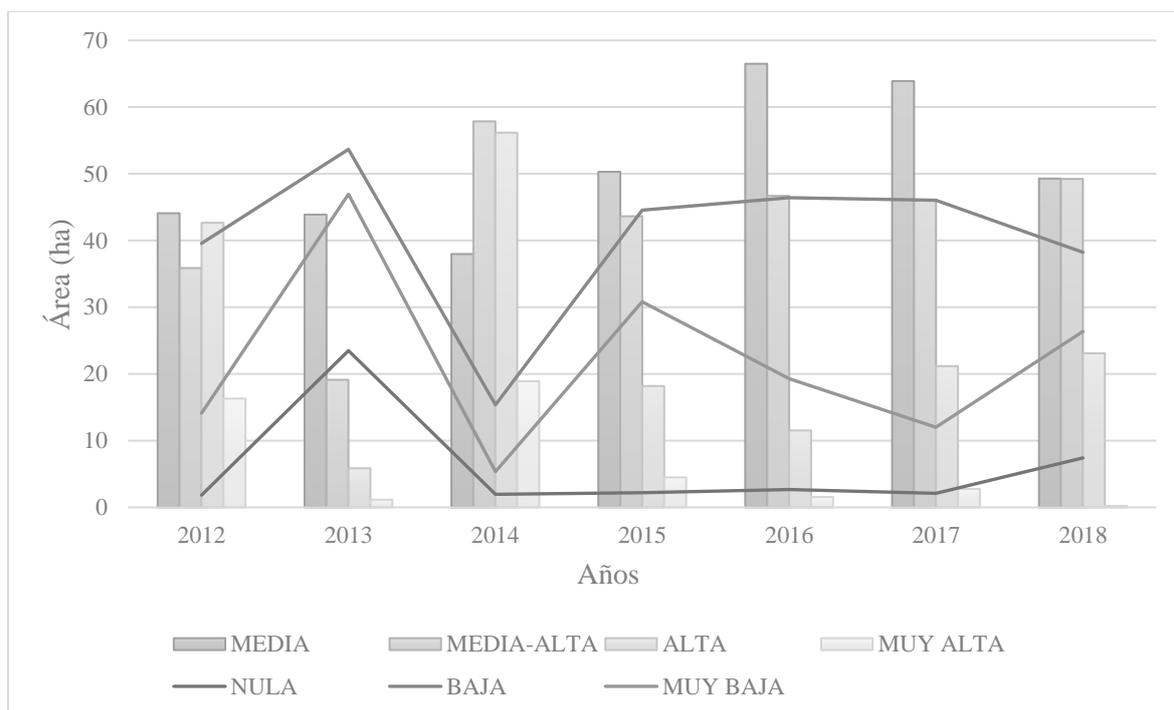
En cuanto a las especies esciófilas su actividad fotosintética se ve reflejada a partir del año 2016 hasta el 2018 ya que hasta en ese tiempo ya presenta un dosel medianamente desarrollado cuya actividad fotosintética Media-Alta ocupó un área de 92.23 ha.

Zárate *et al.* (2013) mencionan dos factores fundamentales a tomar en cuenta para el desarrollo de la cobertura vegetal, el cual es la presencia de árboles muertos en pie y árboles

vivos residuales los cuales pueden servir como elementos para la regeneración natural dentro de las áreas afectadas.

En la figura 16 se evidencia el proceso de recuperación en la vegetación arbustiva, donde se refleja la actividad fotosintética a partir del primero y segundo año posterior al incendio forestal.

Figura 16. Actividad Fotosintetica (Vegetación Arbustiva)



Para el año 2014 los procesos de recuperación se evidencian de manera clara en la vegetación arbustiva presentando una actividad fotosintética Media-Alta en 57.87 ha posterior al incendio forestal, estudio realizado por Chen *et al.* (2011) mencionan que el proceso de recuperación de dicha cobertura da comienzo en el primero y segundo año después del flajelo tomando en cuenta que la incidencia de dicho evento adverso se haya presentado a una baja gravedad.

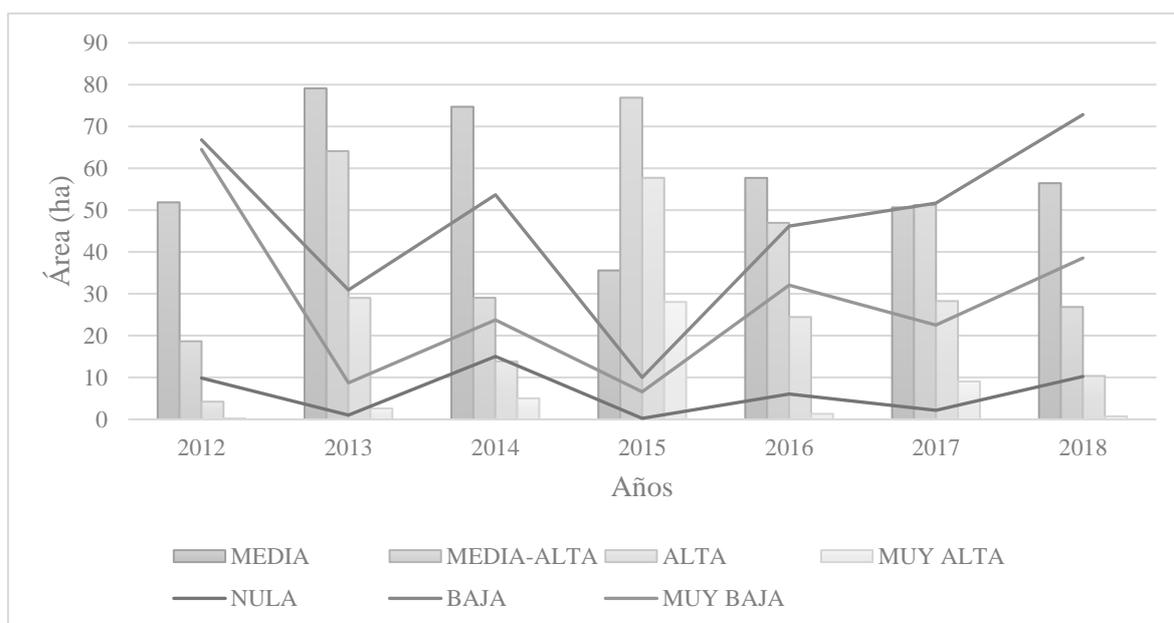
Así mismo, Ma *et al.* (2015) atribuyen este desarrollo a las condiciones de crecimiento que presenta el sotobosque, ya que fueron las adecuadas para la recuperación rápida de la biomasa en un corto periodo, debido a la presencia del clima ecuatorial mesotérmico semi-

húmedo a húmedo y el clima ecuatorial mesotérmico de alta montaña planteados por Porrou (1985, citado en Almeida, 2019) en el área de estudio.

En la figura 17, en el año 2012 se observa que existe la presencia de actividad fotosintética media en un área de 51.87 ha, aumentando a 79.1 ha al año 2013, sin embargo, consiguiendo en el 2015 un desarrollo fotosintético Muy Alto en 76.88 ha.

Esto se debe a que la parroquia se caracteriza por tener una base económica eminentemente agropecuaria, donde el GAD San José de Minas (2015) detalla que los productos más comercializados por sus pobladores son: el maíz suave y duro, frejol, zanahoria blanca, níspero, aguacate, guabas entre otros cultivos.

Figura 17. Actividad Fotosintética en Suelos Agrícolas y Pastizales



Situación que influye significativamente en los procesos de recuperación de la cobertura vegetal donde Navazo *et al.* (2015) en su estudio empezó a observar una recuperación en la actividad fotosintética gracias a la presencia de las primeras plantas herbáceas en el área afectada, tomando esta referencia en el alto desarrollo agropecuario señalado anteriormente.

Del mismo modo Montiel y Ibrahim (2016, p. 10) mencionan que una manera de aumentar la resiliencia de los suelos afectados por eventos adversos es mediante el manejo integral de los suelos mismos que contribuyan a crear condiciones edafológicas favorables para el buen

crecimiento de cultivos, germinación de semillas a corto y largo plazo. De manera que (Castro et al. 2009 y Ayarza, 2015, citados en Montiel y Ibrahim, 2016) indican que, en Honduras al implementar un sistema agroforestal se han mejorado cerca de 12000 ha proveiendo de beneficios productivos, económicos y ambientales a la población aledaña.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se registraron 407 incendios forestales en el periodo 2012-2018, los daños se presentaron en bosques nativos, vegetación arbustiva y suelos agrícolas y pastizales, teniendo un área afectada total de 1468.70 ha, de las cuales los suelos agrícolas y pastizales fueron los más afectados ocupando una extensión de 482.88 ha.
- El año 2012 registró incendios en un área de 407.24 ha, presentando altos niveles de severidad, por tal razón la actividad fotosintética se vio severamente afectada en las zonas de estudio.
- La actividad fotosintética registrada, posterior al incendio forestal en las áreas afectadas es muy variable debido a que cada evento adverso presenta distintos niveles de severidad. Los bosques nativos fueron afectados en una extensión de 171.93 ha por altos niveles de intensidad de incendios, por lo que su actividad fotosintética fue nula al año posterior al siniestro. Sin embargo, a partir del año 2013 presentan un proceso de regeneración natural, dando como resultado que en el 2018 la cobertura vegetal se incrementó en área de 92.23 ha.
- El proceso de recuperación de la vegetación arbustiva se empieza a reflejar a partir del primero y segundo año posterior al incendio forestal, cuya intensidad del evento fue baja, de manera que al año 2014 la actividad fotosintética registrada paso a ser media-alta, presentando una recuperación de la cobertura vegetal en un área de 57.87 ha. Proceso atribuido a la presencia del clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo y el clima ecuatorial mesotérmico de alta montaña en el área de estudio.
- Los procesos de regeneración en los suelos agrícolas y pastizales se evidenciaron a partir del año 2013, posterior al evento adverso en un área de 79.1 ha, donde la actividad fotosintética registrada fue media, convirtiéndose a media-alta en el año 2015 en una extensión de 76.88 ha.

## 5.2. Recomendaciones

- Es importante realizar investigaciones similares con el uso de nuevas plataformas de teledetección como es el caso de Google Earth Engine, ya que permite el procesamiento de datos a gran escala para obtener información en el ámbito nacional sobre las afectaciones que ocasionan los incendios forestales en la cobertura vegetal.
- Para la diferenciación de áreas afectadas por incendios forestales de zonas artificiales o terrenos agropecuarios, es importante tener una imagen satelital de alta definición, ya sea obtenida en Google Earth Pro o de SAS Planet, mismas que permitirán su discriminación para evitar errores de identificación de eventos adversos.
- Para aumentar los procesos de regeneración vegetal dentro de las diferentes coberturas es de vital importancia la intervención humana en el área afectada, debido a que se pueden implementar programas de reforestación con el uso de especies nativas del lugar.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguilera, M. (2015). *El régimen jurídico de los incendios forestales especial referencia al contexto jurídico y territorial de Cataluña*. Universitat Rovira i Virgili. [https://books.google.es/books?id=L8y0DQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=L8y0DQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Alloza, J.A., García, S., Gimeno, T., Baeza, J., Vallejo, V.R., Rojo, L. & Martínez, A. (2014). *Guía Técnica para la Gestión de Montes Quemados. Protocolos de actuación para la restauración de zonas quemadas con riesgo de desertificación*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/pdfguatcnicaparalagestindemontesquemados\\_tcm30-479142.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/pdfguatcnicaparalagestindemontesquemados_tcm30-479142.pdf)
- Almeida, W. (2019). *Propuesta de zonificación ecológica económica como instrumento de planificación territorial en la parroquia San José de Minas, cantón Quito, provincia de Pichincha* [tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17615>
- Alonso, D. (2015, 8 de octubre). *NDVI: Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS*. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/#:~:text=El%20C3%8Dndice%20de%20Vegetaci%C3%B3n%20de,del%20espectro%20electromagn%C3%A9tico%20que%20la>
- Alphan, H., & Derse, M. A. (2012). Change detection in Southern Turkey using normalized difference vegetation index (NDVI). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 21(1), 12-18. <https://doi.org/10.3846/16486897.2012.663091>
- Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (2002, septiembre). *Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal* [sesión de conferencia]. X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Valladolid, España. [https://www.researchgate.net/publication/266478620\\_Correccion\\_Radiometrica\\_y\\_](https://www.researchgate.net/publication/266478620_Correccion_Radiometrica_y_)

Geometrica\_de\_Imagenes\_para\_la\_Deteccion\_de\_Cambios\_en\_una\_Serie\_Tempor  
al\_in\_spanish

- Amengual, L. (2019, 5 de Julio). *Causas y consecuencias de los incendios forestales*. Levante El Mercantil Valeciano. <https://www.levante-emv.com/sociedad/2019/07/05/causas-consecuencias-incendios-forestales-13657711.html>
- Ariza, A. (2013). *Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://unspider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Arnal-Storey, E., Lee-West, K., & Stow, D. (2020). Utility and optimization of LANDSAT-derived burned area maps for southern California. *International Journal of Remote Sensing*, 42(2), 486-505. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1809741>
- Arozarena, A., & Otero, I. (2016). *Sistemas de captura de la información; fotogrametría y teledetección*. Dextra Editorial. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/131471>
- Atencia, V., Contreras, J., & Vergara, D. (2008). *Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo bajo San Jorge Margen Izquierdo (B13) y diagnóstico de zonas intervenidas antropicamente (agricultura y ganadería)*[tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio Institucional US. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/935>
- Avilés, P. E., Castañeda, E. D., Araneda, F. M., Casco, F., Orellana, O., & López, S. (2016). *Análisis de cambios de la cobertura forestal y uso de la tierra mediante imágenes satelitales de alta resolución espacial, Periodo 2010 - 2015: Área de influencia del mecanismo socioambiental Diquis, República de Costa Rica*. Programa Regional REDD/CCAD-GIZ. <https://www.researchgate.net/publication/312089773>
- Barojas, S. A. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338. <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Barragán, I., & García, C. (2017). *Evaluación del riesgo de incendios forestales y su efecto en el ecosistema. Bosque Los Arrayanes, parroquia San Pablo. cantón San Miguel, Bolívar 2017* [tesis de pregrado, Universidad Estatal de Bolívar]. Repositorio Institucional UEB. <http://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/1866>

- Bencardino, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13.<sup>a</sup> ed). Ecoe Ediciones.  
<https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2015/08/Estadistica-y-Muestreo-13ra-Edici%C3%B3n.pdf>
- Blondel, M., & Fernandez, I. (2012). Efectos de la fragmentación del paisaje en el tamaño y frecuencia de incendios forestales en la zona central de Chile. *Revista Conservación Ambiental*, 2(1), 7-16.  
[https://www.researchgate.net/publication/243962903\\_Efectos\\_de\\_la\\_fragmentacion\\_del\\_paisaje\\_en\\_el\\_tamano\\_y\\_frecuencia\\_de\\_incendios\\_forestales\\_en\\_la\\_zona\\_central\\_de\\_Chile](https://www.researchgate.net/publication/243962903_Efectos_de_la_fragmentacion_del_paisaje_en_el_tamano_y_frecuencia_de_incendios_forestales_en_la_zona_central_de_Chile)
- Boccia, V. (2019, 26 de Agosto). *TM & ETM+*. Sensor Performance, Products and Algorithms. <https://earth.esa.int/web/sppa/mission-performance/esa-3rd-party-missions/landsat-1-7/tm-etm/sensor-description>
- Bodi, M., Cerdá, A., Mataix-Solera, J., & Doerr, S. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la Cuenca Mediterránea: Revisión Bibliográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58(58), 33-55.  
<https://doi.org/10.21138/bage.2058>
- Boelman, N., Rocha, A., & Shaver, G. (2011). Understanding burn severity sensing in Arctic tundra: exploring vegetation indices, suboptimal assessment timing and the impact of increasing pixel size. *International Journal of Remote Sensing*, 32(22), 7033-7056. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.611187>
- Carrasquedo, K. (2017, 23 de enero). *Muestreo probabilístico y no probabilístico*. Gestipolis.  
<https://www.gestipolis.com/muestreo-probabilistico-y-no-probabilistico/>
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyama, L., & Cao, C. (2017). Monitoring of post-fire forest recovery under different restoration modes based on time series Landsat data. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 153-168.  
<https://doi.org/10.5721/EuJRS20144710>
- Chen, X., Vogelmann, J.E., Rollins, M., Ohlen, D., Key, C.H., Yang, L., Huang, C. & Shi, H. (2011). Detecting post-fire burn severity and vegetation recovery using multitemporal remote sensing spectral indices and field-collected composite burn

- index data in a ponderosa pine forest. *International Journal of Remote Sensing*, 32(23), 7905-7927. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.524678>
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial* (2.<sup>a</sup> ed.). Ediciones RIALP, S.A.  
<http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- Cogollos, R. G., Visús, D. V., Miralles, V. C., & Morató, H. E. (2017). Estudio crítico de los índices de severidad y la superficie afectada por el incendio de Sierra de Luna (Zaragoza). *Revista de Teledetección*, 49(63), 63-77. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7117>
- Columba, M. J., Quisilema, W., Padilla, O., & Toulkeridis, T. (2016). Identificación de zonas de recurrencia de incendios forestales mediante análisis multitemporal y aplicación de índices espectrales, en el Distrito Metropolitano de Quito. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 1(3), 7-13. [https://www.researchgate.net/publication/317017416\\_IDENTIFICACION\\_DE\\_ZONAS\\_DE\\_RECURRENCIA\\_DE\\_INCENDIOS\\_FORESTALES\\_MEDIANTE\\_ANALISIS\\_MULTITEMPORAL\\_Y\\_APLICACION\\_DE\\_INDICES\\_ESPECTRALES\\_EN\\_EL\\_DISTRITO\\_METROPOLITANO\\_DE\\_QUITO](https://www.researchgate.net/publication/317017416_IDENTIFICACION_DE_ZONAS_DE_RECURRENCIA_DE_INCENDIOS_FORESTALES_MEDIANTE_ANALISIS_MULTITEMPORAL_Y_APLICACION_DE_INDICES_ESPECTRALES_EN_EL_DISTRITO_METROPOLITANO_DE_QUITO)
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1053-1073. <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- Ferreira, A., Ferreira, C., Bento, C., Carreiras, M., & Esteves, T. (2011, 07 de julio). *El impacto de los incendios forestales en el ciclo hidrológico*. Método Universidad de Valencia. <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/foc-i-aigua.html>
- Fletcher, P. (2004, 15 de octubre). *Planificación de la adquisición de imágenes para el sensor CHRIS integrado en PROBA*. SPIE.DIGITAL LIBRARY. <https://doi.org/10.1117/12.561097>

- Galindo, G., Sarango, J., & Villarroel, V. (2012). *Los incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito evaluación 2012*. Secretaria de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.
- García-Mora, T. J., & Mas, J.-F. (2011). Evaluación de imágenes del sensor MODIS para la cartografía de la cobertura del suelo en una región altamente diversa de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(1), 83-94. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-33222011000100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222011000100008&lng=es&tlng=es)
- Generalitat de Catalunya. (s.f.). *Normalized Difference Vegetation Index*. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Descargas/Fotografias-aereas-y-ortofotos/NDVI>
- Glenn, D. M., & Tabb, A. (2019). Evaluation of Five Methods to Measure Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Apple and Citrus. *International Journal of Fruit Science*, 19(2), 191-210. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1502720>
- Gobierno Autonomo Descentralizado San José de Minas [GAD San José de Minas]. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San José de Minas*. <https://www.scribd.com/document/328604787/Plan-de-desarrollo-territorial-San-Jose-de-Minas>
- Gómez, I. (2019, 8 de Febrero). *Incendios forestales y sus efectos sobre fauna y flora*. Faunatura. <https://www.faunatura.com/incendios-forestales-efectos-fauna-flora.html>
- González, P. (2017). *Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186>
- Guillem-Cogollos, R., Vinué-Visús, D., Caselles-Miralles, V., & Espinós-Morató, H. (2017). Estudio crítico de los índices de severidad y la superficie afectada por el incendio de Sierra de Luna (Zaragoza). *Revista de Teledetección*, (49), 63-77. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7117>

- Haltenhoff, H. (2005). *Manual de Efectos del Fuego y Evaluación de Daños. Proyecto FAO TCP/GUA/2903*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. <https://www.scribd.com/document/63762440/Manual-Efectos-Fuego-Evaluacion-de-Danos>
- Hernández, L., Barreira, R., & Grillo, C. (2020). *El planeta en llamas. Propuesta ibérica de WWF para la prevención de incendios*. WWF España y ANP. [https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf\\_informe\\_incendios\\_2020\\_el\\_planeta\\_en\\_llamas.pdf](https://wwfes.awsassets.panda.org/downloads/wwf_informe_incendios_2020_el_planeta_en_llamas.pdf)
- Hislop, S., Jones, S., Soto-Berelov, M., Skidmore, A., Haywood, A., & Nguyen, T. (2019). High fire disturbance in forests leads to longer recovery, but varies by forest type. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 5(4), 376-388. <https://doi.org/10.1002/rse2.113>
- Idris, M. H., Kuraji, K., & Suzuki, M. (2005). Evaluating vegetation recovery following large-scale forest fires in Borneo and northeastern China using multi-temporal NOAA/AVHRR images. *Journal of Forest Research*, 10(2), 101-111. <https://doi.org/10.1007/s10310-004-0106-y>
- Jara, P. S. (2012). *La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales* [tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional UC. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/779>
- Labrador, M., Évora, J., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*. Litografía Romero. [https://www.researchgate.net/publication/259230060\\_Satelites\\_de\\_teledeteccion\\_para\\_la\\_gestion\\_del\\_territorio](https://www.researchgate.net/publication/259230060_Satelites_de_teledeteccion_para_la_gestion_del_territorio)
- Lee, B., Kim, S. Y., Chung, J., & Park, P. S. (2008). Estimation of fire severity by use of Landsat TM images and its relevance to vegetation and topography in the 2000 Samcheok forest fire. *Journal of Forest Research* 13, 197-204. <https://doi.org/10.1007/s10310-008-0072-x>
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., & Tong, X. (2020). A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *European Journal of Remote Sensing*, 53(1), 104-112. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>

- Ma, J., Bu, R., Liu, M., Chang, Y., Han, F., Qin, Q., & Hu, Y. (2015). Recovery of understory vegetation biomass and biodiversity in burned larch boreal forests in Northeastern China. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(4), 382-393. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1072238>
- Mas, J.-F. (2011). *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio*. Colecciones CIGA. <https://doi.org/10.22201/ciga.9786077908555e.2011>
- Masek, J. (2020, 7 de Agosto). *Estudios de caso: cómo nos ayuda Landsat*. Landsat Science. [https://landsat.gsfc.nasa.gov/how\\_landsat\\_helps/case-studies-2/](https://landsat.gsfc.nasa.gov/how_landsat_helps/case-studies-2/)
- Maselli, F., Chiesi, M., & Pieri, M. (2016). A novel approach to produce NDVI image series with enhanced spatial properties. *European Journal of Remote Sensing*, 49(1), 171-184. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20164910>
- Matix-Solera, J. (2011, 07 de julio). *Los efectos de los incendios en el suelo*. Méthode Universidad de Valencia. <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/els-efectes-dels-incendis-al-sol.html>
- Michalijos, M., & Uboldi, J. (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios mediante el uso de imágenes satelitales (Sierra de la Ventana, Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*, 56, 223-234. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n56/art12.pdf>
- Monterroso, M. F. (s.f.). *Guía práctica: Clasificación de imágenes satelitales*. Arcgeek. <http://arcgeek.com/descargas/ClasImMF.pdf>
- Montiel, K., & Ibrahim, M. (2016). *Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://repiica.iica.int/docs/B3982E/B3982E.PDF>
- Morón, L. S., Devisscher, T., & Espinoza, D. (2014). *Análisis espacial y multitemporal de la dinámica de los incendios forestales entre los años 1986 - 2012 en la Cuenca de Zapocó, Santa Cruz, Bolivia*. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. <https://www.weadapt.org/sites/weadapt.org/files/legacy-new/knowledge-base/files/547efdd8388f1dt-lsaldana-final.pdf>

- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito [MDMQ]. (2016). *Informe técnico de base para la conservación de los remanentes de vegetación nativa en las parroquias Norcentrales del Distrito Metropolitano de Quito*.
- Muñoz, R. (2000). Las quemadas incotroladas como causa de incendios forestales. *Cuaderno de la S.E.C.F.,N*, (9), 13-26. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i9.9179>
- Navazo, G., Nieto, A., & Moreno, G. (2015). *Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en Sierra de Gata* (2015). ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/312053858\\_ANALISIS\\_DE\\_INCENDIO\\_S\\_FORESTALES\\_MEDIANTE\\_SISTEMAS\\_DE\\_INFORMACION\\_GEOGRAFICA\\_Y\\_TELEDETECCION\\_ESTUDIO\\_DE\\_CASO\\_EN\\_SIERRA\\_DE\\_GATA\\_2015](https://www.researchgate.net/publication/312053858_ANALISIS_DE_INCENDIO_S_FORESTALES_MEDIANTE_SISTEMAS_DE_INFORMACION_GEOGRAFICA_Y_TELEDETECCION_ESTUDIO_DE_CASO_EN_SIERRA_DE_GATA_2015)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (25 de Noviembre de 2020). *Manejo del fuego*. <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/es/>
- Pascual, G. C. (2012). *Assessment of passive optical remote sensing for mapping macroalgae communities on the Galician coast* [tesis de pregrado, Universidad de Coruña]. Repositorio Universidad de CORL. <http://hdl.handle.net/2183/10074>
- Pausas, J. (2012). *Incendios forestales: una visión desde la ecología*. Libros de la Catarata. <http://hdl.handle.net/10261/56575>
- Paz, J. (2004). *Análisis multitemporal del recurso forestal en la Mancomunidad del Yegüare con el uso de imágenes satelitales LANDSAT 7* [tesis pregrado, Universidad Zamorano]. Repositorio Institucional Zamorano. <http://hdl.handle.net/11036/2155>
- Quintano, C., Fernández-Manso, A., Fernández-Manso, O., & Shimabukuro, Y.E. (2006). Mapping burned areas in Mediterranean countries using spectral mixture analysis from a uni-temporal perspective. *International Journal of Remote Sensing*, 27(4), 645-662. <https://doi.org/10.1080/01431160500212195>
- Quistial, G. (2016). *Propuesta de un plan de prevención de incendios forestales, en las parroquias la Carolina y Salinas, cantón Ibarra, provincia de Imbabura* [tesis de

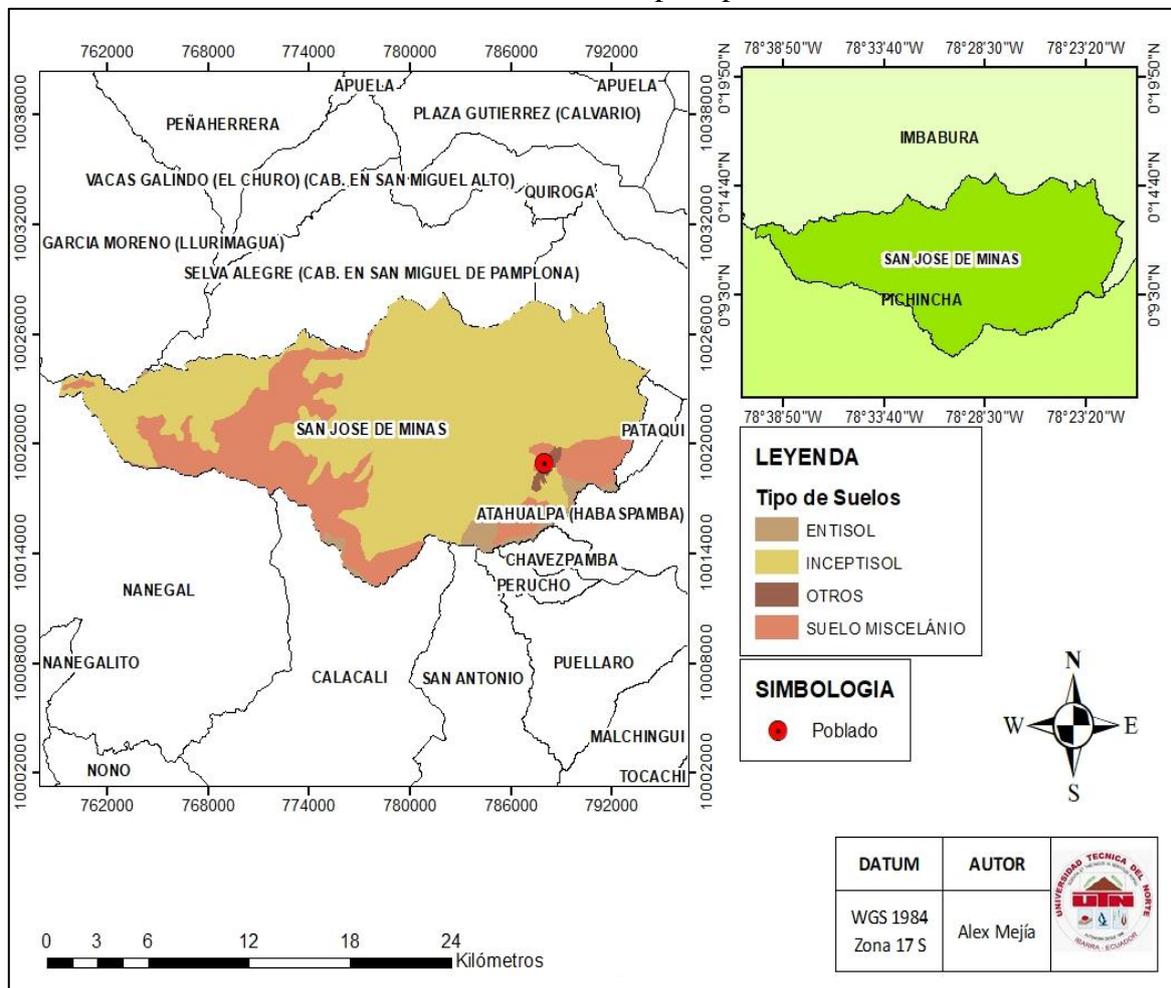
- pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5683>
- Rao, N. R., Garg, P. K., & Ghosh, S. K. (2007). Evaluation of radiometric resolution on land use/land cover mapping in an agricultural area. *International Journal of Remote Sensing*, 28(2), 443-450. <https://doi.org/10.1080/01431160600733181>
- Reyes, A. (s.f.). *Ecuador Megadiverso*. Calaméo. <https://es.calameo.com/books/005632999e51005a5b754>
- Riaño, O. (2002). Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. *Colombia Forestal*, 7(15), 41-62. <https://doi.org/10.14483/2256201X.3306>
- Rice, W. (2010). *Los incendios*. Teacher Created Materials. <https://books.google.com.ec/books?id=acrReeEOgEC&pg=PP16&dq=importancia+del+fuego&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiqxqKYk4buAhUCheAKHZtoDvUQ6AEwBH0ECAUQA#v=onepage&q=importancia%20del%20fuego&f=false>
- Rodríguez, D., Sánchez, N., & Domínguez, J. (2015). *Cuestiones de teledetección*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/48836?page=41>
- Rojas, S. (2011). *Evaluación de metodologías para procesamiento de imágenes satelitales para identificación de cambio de uso de suelo* [tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejercito]. Repositorio DSpace. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4749>
- Sánchez, D. (2017). *Evaluación del sistema de agua potable de la parroquia San José de Minas, cantón Quito, provincia de Pichincha* [tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13716>
- Sanchez, D., Dominguez, D., & Garcés, S. (2016). *Informe técnico de base para la conservación de los remanentes de vegetación nativa en las parroquias Norcentrales del Distrito Metropolitano de Quito*. Secretaria de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

- Sunar, F., & Özkan, C. (2010). Forest fire analysis with remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2265-2277. <https://doi.org/10.1080/01431160118510>
- Torres, J., & Perera, V. (2009). Cálculo de la fiabilidad y concordancia entre codificadores de un sistema de categorías para el estudio del foro online en E-Learning. *Revista de Investigación Educativa*, 27(1), 89-103. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=283322804006>
- UN-SPIDER. (s.f.). *Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)*. United Nations Office for Outer Space Affairs. [http://www.un-spider.org/es/node/12287#:~:text=El%20C3%ADndice%20Normalizado%20de%20C3%81rea,de%20onda%20corta%20\(SWIR\).](http://www.un-spider.org/es/node/12287#:~:text=El%20C3%ADndice%20Normalizado%20de%20C3%81rea,de%20onda%20corta%20(SWIR).)
- Vargas-Sanabria, D., & Campos-Vargas, C. (2020). Comparación multitemporal de áreas quemadas en un bosque seco tropical utilizando el índice de área quemada (IAQ). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(41), 29-36. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i41.5280>
- Zárate, R., Gordillo, A., Rodríguez, R., Maycotte, C., & Acevedo, O. (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque nacional "El Chico", Hidalgo, México. *Madera y Bosques*, 19(2), 73-86. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712013000200005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712013000200005)

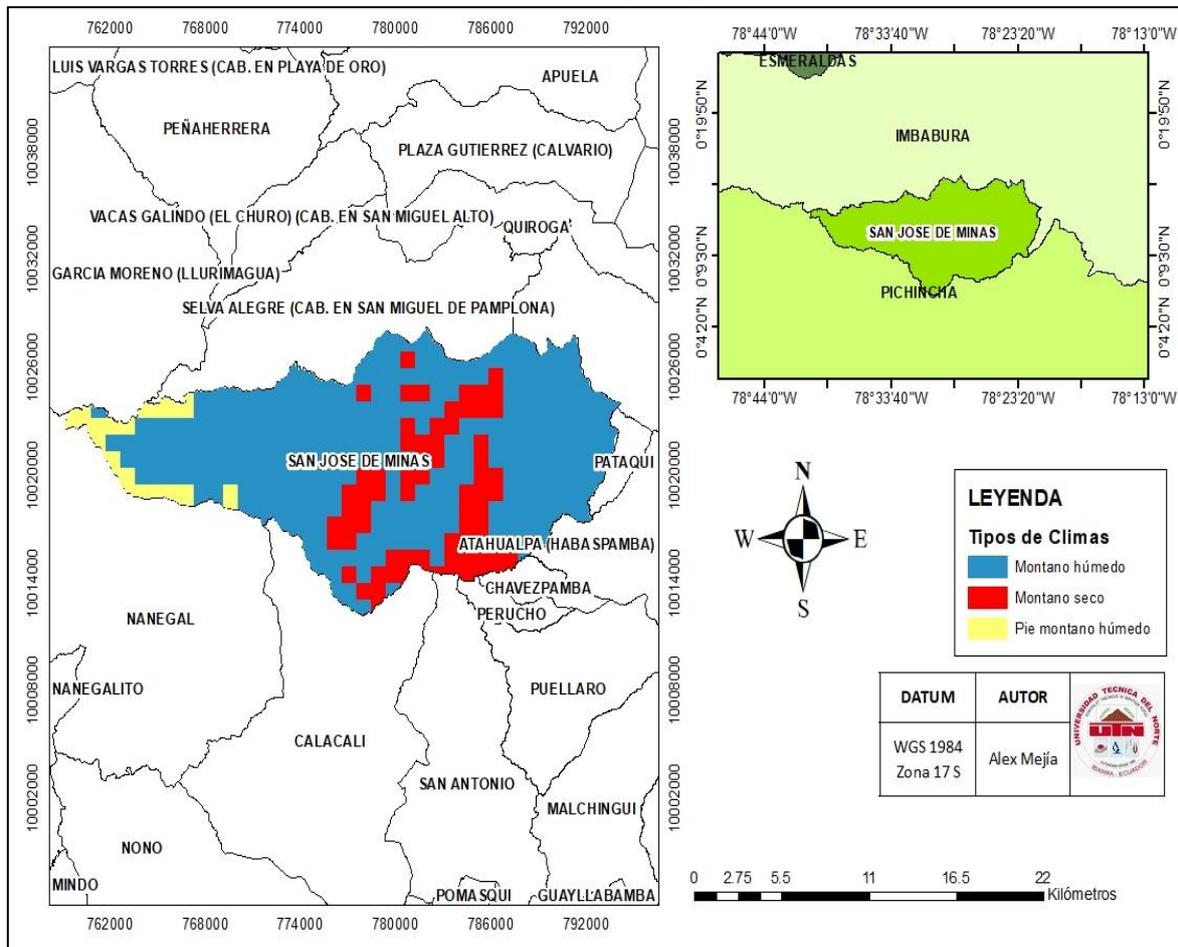
## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

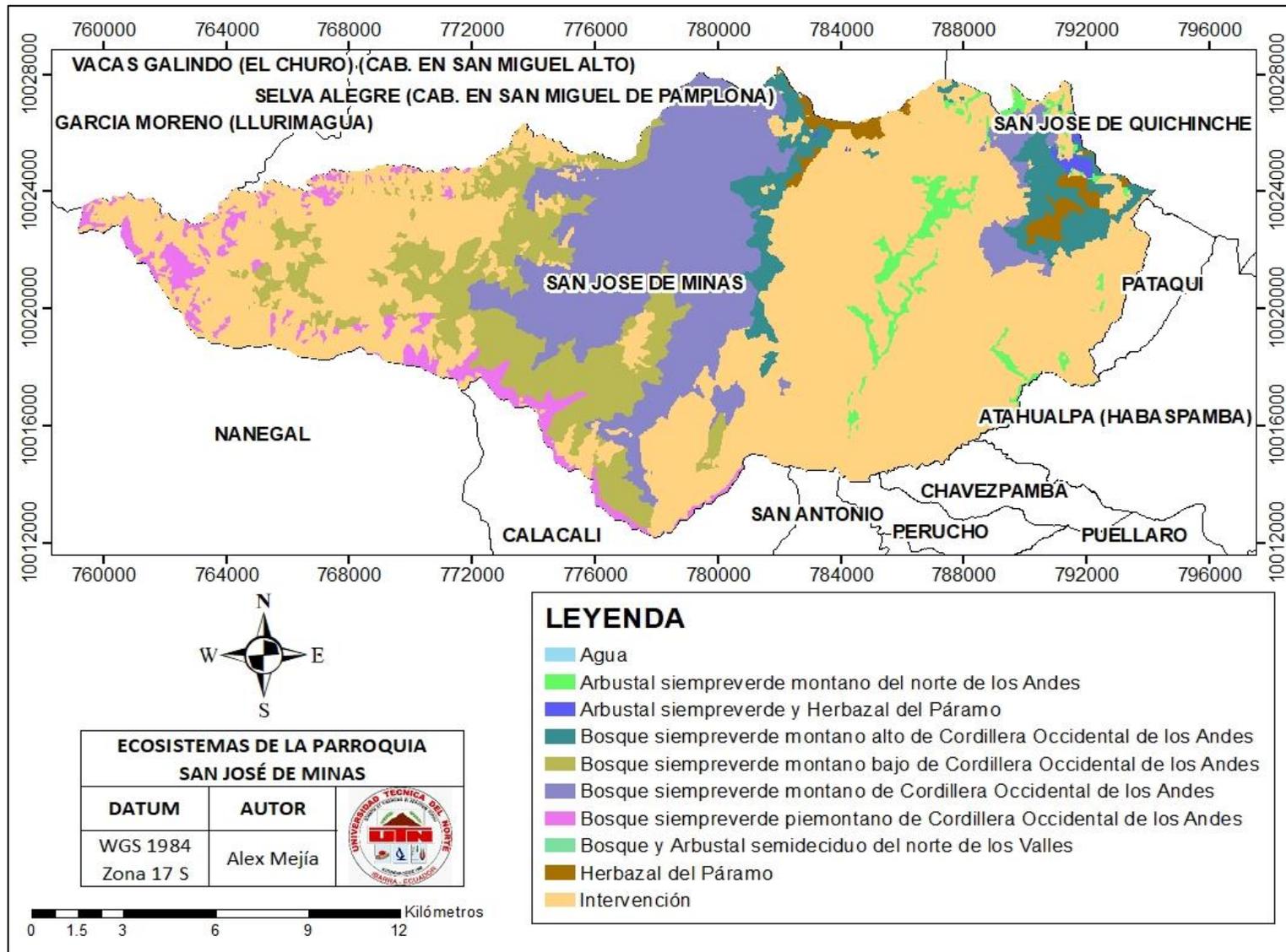
#### Anexo 1. Mapa Tipos de Suelos



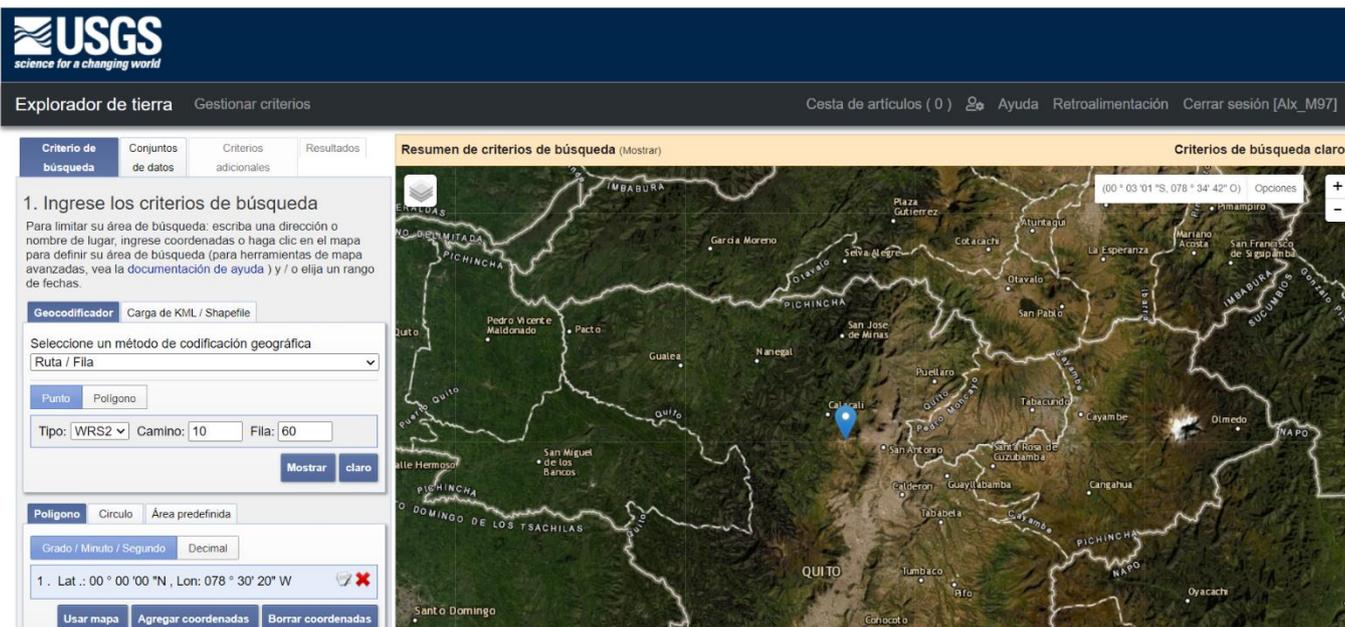
### Anexo 2. Mapa Tipos de Climas



Anexo 3. Mapa de Ecosistemas



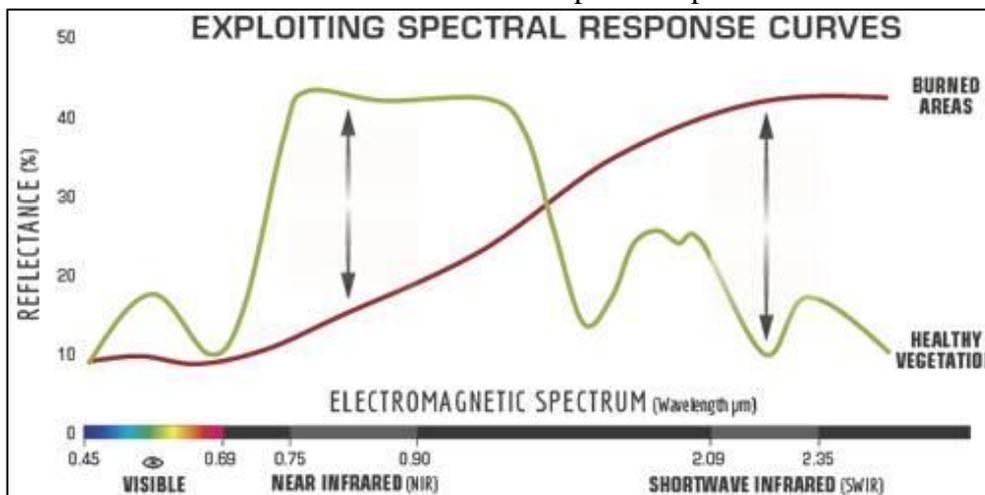
### Anexo 4. Búsqueda de imágenes del área de estudio de acuerdo al Path/Row



### Anexo 5. Numero de imágenes descargadas y sus fechas

Satélite	Fecha
Landsat 7 ETM+	2011/06/08
Landsat 7 ETM+	2012/11/17
Landsat 8 OLI	2013/10/11
Landsat 8 OLI	2014/01/15
Landsat 8 OLI	2015/09/15
Landsat 8 OLI	2016/10/19
Landsat 8 OLI	2017/09/20
Landsat 8 OLI	2018/07/05

### Anexo 6. Curva de respuesta espectral



Fuente: UN-SPIDER (2014)

### Anexo 7. Shapes incendios forestales registrados por el Cuerpo de Bomberos del DMQ

