



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL
INCENDIADAS EN EL CANTÓN IBARRA

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

Burbano Cepeda Nicolás André
Rivera Rivera Jeniffer Alejandra

DIRECTOR:

Ing. Jorge Ramírez, M.Sc.

Mayo – 2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 12 de mayo del 2022

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL INCENDIADAS EN EL CANTÓN IBARRA", de autoría del señor NICOLÁS ANDRÉ BURBANO CEPEDA y la señorita JENIFFER ALEJANDRA RIVERA RIVERA estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

MSc. Jorge Ramírez
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Oscar Rosales
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

FIRMA




Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA :	0401645338	
NOMBRES Y APELLIDOS:	Nicolás André Burbano Cepeda	
DIRECCIÓN:	Av. Leonardo da Vinci y Aurelio Gómez Jurado	
EMAIL:	naburbanoc@utn.edu.ec	
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	611843	0984682367

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA :	1003773999	
NOMBRES Y APELLIDOS:	Jeniffer Alejandra Rivera Rivera	
DIRECCIÓN:	San Antonio-Barrio Los Soles	
EMAIL:	jariverar@utn.edu.ec	
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	2933486	0969527887

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL INCENDIADAS EN EL CANTÓN IBARRA
AUTORES:	Burbano Cepeda Nicolás André Rivera Rivera Jeniffer Alejandra
FECHA:	11 de mayo del 2022
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Jorge Ramírez MSc.

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan 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 que son el los titulares 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 11 días del mes de mayo de 2022

.....
Nicolás André Burbano Cepeda
CI: 0401645338

.....
Jeniffer Alejandra Rivera Rivera
CI: 1003773999

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo fue posible gracias al tiempo, trabajo y dedicación que los docentes de la Universidad Técnica del Norte nos han brindado a lo largo de nuestra carrera y formación universitaria. A nuestro director el ingeniero Jorge Ramírez, quién nos apoyó y guio en cada paso de la elaboración de nuestra tesis con sus conocimientos y paciencia; al ingeniero Gabriel Jácome, quien siempre nos orientó a tomar las mejores decisiones y, al ingeniero Oscar Rosales, que con su experiencia nos permitió resolver distintas situaciones para seguir avanzando. También agradecemos al ingeniero José Guzmán, quien inicialmente nos guio y nos enseñó a desarrollar nuestro trabajo.

Burbano Cepeda Nicolás André
Rivera Rivera Jeniffer Alejandra

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi familia, especialmente a mi madre, quien me apoyo durante todo mi proceso de formación académica y a lo largo de mi vida, siendo quien me ha animado a continuar y esforzarme día a día, agradezco infinitamente todo su apoyo y la confianza que siempre ha depositado en mí, también a mi padre, quien ha creído en mí, adema del apoyo durante mi crecimiento académico y personal. Quiero agradecer a mi querido hermano, que siempre ha estado conmigo brindándome su cariño y apoyo incondicional.

También quiero agradecer a mi mejor amigo, quien fue mi compañero de tesis y me ha brindado su apoyo durante toda la carrera universitaria, finalmente a mis docentes, por su paciencia, enseñanza y conocimiento.

Jeniffer Rivera

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mi madre, quién me enseñó a ser recto y tan fuerte como sea necesario, sin dejar de ser una persona apasionada con un corazón lleno de amor, a mi padre quién me entregó su sabiduría, permitiéndome nutrir la mía día tras día aprendiendo de mis errores para ser siempre un mejor hombre, a mi hermano quién me mostró como tener un equilibrio en cada aspecto de mi vida sacando lo mejor de mí; ellos son el motivo del que yo pueda escribir estas palabras, de ser quien soy ahora, por el que seré mejor día tras días, por el que agradezco a Dios cada segundo de mi vida.

También se la dedico a mi mejor amiga, quien siempre me permite ver las cosas con diferente perspectiva, desde otro ángulo, y que fue mi compañera tesis, pero también alguien con quien he podido contar y confiar desde el momento en que entablamos tan valiosa amistad.

No puede faltar mi querida Mishell quien, con sus ocurrencias, vitalidad y brillantes ideas, siempre me inspira a luchar por mis sueños, acompañándome en mis mejores y peores momentos, siendo un gran apoyo incondicional en cada paso que doy.

Nicolás Burbano

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte	1
1.2 Problema de investigación y justificación.....	4
1.2 Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Preguntas directrices de la investigación	5
CAPÍTULO II.REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Marco teórico referencial	6
2.1.1. Análisis multitemporal	6
2.1.2. Evaluación de áreas incendiadas	8
2.1.3. Restauración de áreas incendiadas	11
2.1.4. Cobertura vegetal	11
2.1.5. Cambios de uso del suelo	12
2.1.6. Estrategias de conservación	13
2.1.6.1. Técnicas de conservación ex situ	13
2.1.7. Formaciones vegetales	15
2.2. Marco legal.....	16
2.2.1. Constitución política de la república del Ecuador.....	16
2.2.2. Código Orgánico Ambiental	17
2.2.3. Código Penal Ecuatoriano.....	18
2.2.4. Ordenanza que Norma el Plan de Gestión Ambiental en el Cantón San Miguel de Ibarra	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	20
3.1 Descripción del área de estudio.....	20
3.1.1 Clima.....	21
3.1.2 Humedad relativa	21

3.1.3 Temperatura	21
3.1.4 Precipitación.....	22
3.1.5 Tipos de ecosistemas.....	22
3.1.7 Tipos de cobertura vegetal existentes	23
3.2 Métodos.....	23
3.2.1 Caracterización de las áreas afectadas por incendios de la cobertura vegetal entre los años 2010 – 2020.....	23
3.2.2 Análisis post-incendio de las áreas de cobertura vegetal en el cantón Ibarra	25
3.2.2.3 Índices espectrales aplicados en las áreas de cobertura vegetal post-incendio	26
3.2.3 Establecimiento de propuesta de restauración de áreas incendiadas en el cantón Ibarra.....	29
3.3 Materiales y equipos	31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1 Caracterización de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios entre los años 2010 y 2020.....	32
4.1.1 Identificación y análisis de los incendios registrados en el cantón Ibarra en el período 2010-2020	33
4.1.2 Análisis del estado de la cobertura vegetal en las áreas afectadas por incendios	34
4.1.3 Clasificación de las áreas de cobertura vegetal afectadas pre-incendio.....	40
4.2. Análisis de la cobertura vegetal post-incendio en las áreas afectadas	45
4.2.1 Validación de resultados	55
4.3 Establecimiento de estrategias de prevención de incendios y aislamiento de amenazas en las áreas incendiadas del cantón Ibarra.....	57
4.3.1 Matriz FODA	57
4.3.2 Estrategias de prevención y aislamiento de amenazas	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 Conclusiones	76
5.2 Recomendaciones.....	76
REFERENCIAS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM del cantón Ibarra, zona 17 sur	21
Tabla 2. Rangos establecidos para la interpretación del NDVI	25
Tabla 3. Concordancia del coeficiente Kappa.....	29
Tabla 4. Equipos, materiales y software a usar en la presente investigación.....	31
Tabla 5. Identificación de los incendios ocurridos en el año 2010 hasta el 2020, con extensiones mayores a 50 hectáreas	33
Tabla 6. Resumen de la extensión de la cobertura vegetal.....	43
Tabla 7. Extensión en hectáreas de los incendios ocurridos en La Carolina	50
Tabla 8. Extensión en hectáreas de los incendios forestales ocurridos en San Miguel de Ibarra	53
Tabla 9. Extensión en hectáreas del incendio forestal ocurrido en Angochagua .	54
Tabla 10. Validación de datos de siete incendios del periodo de tiempo de estudio	55
Tabla 11. Registro fotográfico de las salidas de campo de los incendios SM2, C5,	57
Tabla 12. Matriz FODA de las áreas de cobertura vegetal incendiadas en el cantón Ibarra	58
Tabla 13. Proyecto de educación ambiental.....	60
Tabla 14. Cronograma de actividades, proyecto de educación ambiental	62
Tabla 15. Proyecto de reducción de materiales combustibles.....	66
Tabla 16. Cronograma de actividades, proyecto de reducción de materiales combustibles.....	68
Tabla 17. Proyecto de aislamiento de amenazas	72
Tabla 18. Cronograma de actividades, proyecto de aislamiento de amenazas	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Cantón Ibarra.....	20
Figura 2. Incendios significativos registrados entre los años 2010 y 2020 en el cantón Ibarra.....	32
Figura 3. NDVI de las parroquias en donde se registran los incendios a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua.....	36
Figura 4. NDVI en el periodo 2010-2020: a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua en series mensuales.....	39
Figura 5. NDVI de las parroquias; a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua.....	41
Figura 6. Clasificación de la cobertura vegetal basada en los valores del NDVI de la parroquia: a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua	42
Figura 7. Cobertura vegetal de las parroquias; a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua	44
Figura 8. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia La Carolina, codificación respectiva: a) C1, b) C2, c) C3, d) C4, e) C5.....	46
Figura 9. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia La Carolina, codificación respectiva: a) C6, b) C7, c) C8	48
Figura 10. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia La Carolina, codificación respectiva: a) C9.....	49
Figura 11. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia San Miguel De Ibarra, codificación respectiva: a) SM2, b) SM3.....	52
Figura 12. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la de la parroquia Angochagua, codificación respectiva: AN1.....	54

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL
INCENDIADAS EN EL CANTÓN IBARRA

Trabajo de titulación

Nicolás Burbano y Jeniffer Rivera

RESUMEN

Los incendios forestales son una problemática a nivel global causada por diferentes factores como la falta de educación ambiental, la expansión de la frontera agrícola, el cambio climático, entre otros. En Imbabura, una de las causas principales de pérdida de cobertura vegetal son los incendios forestales, por ello es necesario estudiar las razones de su incremento en los últimos años y proponer estrategias de control. La presente investigación determina el cambio multitemporal de cobertura vegetal producido por incendios en el cantón Ibarra entre los años 2010 y 2020. Se utilizó imágenes satelitales Landsat 7, Landsat 8, Sentinel-2, RapidEye y Planet Scope para caracterizar y clasificar las áreas de cobertura vegetal del cantón; posteriormente se aplicó los índices espectrales BAI y NDVI. La caracterización pre-incendio determinó que en las parroquias La Carolina, San Miguel de Ibarra y Angochagua predominaba la vegetación densa y vigorosa (alta humedad) con 23 171.80, 8645.55 y 11 530.49 ha respectivamente; y en la parroquia Ambuquí prevalecía la vegetación dispersa (poca vegetación) con 6635.37 ha. El análisis post incendio determinó que 3678.74 ha de las áreas afectadas se recuperaron, por consiguiente, se establecieron tres estrategias enfocadas en la educación ambiental, la reducción de materiales combustibles y el aislamiento de amenazas. Se concluyó que las adaptaciones vegetativas causadas por incendios junto a la inaccesibilidad de las áreas contribuyeron a la recuperación de la cobertura vegetal.

Palabras clave: Vegetación, Imágenes satelitales, Índices espectrales, Incendios.

ABSTRACT

Forest fires are a global problem caused by different factors such as the lack of environmental education, the expansion of the agricultural frontier, climate change, among others. In Imbabura, one of the main causes of loss of vegetation cover are forest fires, so it is necessary to study the reasons for their increase in recent years and propose control strategies. The present investigation determines the multi-temporal change of vegetation cover produced by fires in the canton Ibarra between the years 2010 and 2020. Landsat 7, Landsat 8, Sentinel-2, RapidEye and Planet Scope satellite images were used to characterize and classify the plant cover areas of the canton; BAI and NDVI spectral indices were subsequently applied. The pre-fire characterization determined that in the parishes La Carolina, San Miguel de Ibarra and Angochagua the dense and vigorous vegetation predominated (high humidity) with 23 171.80, 8645.55 and 11 530.49 ha respectively; and in the parish Ambuquí the dispersed vegetation prevailed (little vegetation) with 6635.37 ha. The post fire analysis determined that 3678.74 ha of the affected areas recovered, therefore, three strategies were established focused on environmental education, reduction of combustible materials and isolation of threats. It was concluded that vegetative adaptations caused by fires together with the inaccessibility of the areas contributed to the recovery of the vegetation cover.

Key words: Vegetation, Satellite images, Spectral indices, Fires.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte

Los incendios forestales causan un impacto negativo en las áreas de cobertura vegetal considerándose un problema a nivel mundial por las consecuencias sociales, económicas y ambientales. Ospina (2017) afirma que los incendios forestales y agrícolas son la segunda fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Las áreas de cobertura vegetal incendiadas representan un elemento significativo, ya que influye en la estructura de los ecosistemas, los cambios de uso de suelo, las reservas de carbono y la biodiversidad (Boschetti et al., 2015). Vélez (2000) menciona que las actividades ganaderas en la agricultura utilizan el fuego para diferentes fines, como: quema de rastrojos, eliminación de restos de podas, extender el espacio destinado para el ganado. Los usos mencionados son la principal causa del origen de los incendios de la cobertura vegetal debido a la intencionalidad que existe en los mismos.

Los incendios de cobertura vegetal son materia de investigación a nivel global como en México, un estudio realizado por Valdez et al. (2019) identificó y cuantificó las áreas que sufrieron incendios y cambios de uso del suelo en el estado de Chihuahua, aplicando el índice de cociente normalizado de incendios (NBR) en un total de 28 imágenes satelitales en el período correspondiente a los años 2013 – 2017. Las áreas quemadas identificadas fueron equivalentes a 1260.73 ha de dicha superficie que presentaron un cambio en el uso del suelo 1030.12 ha. Los resultados demuestran que el método aplicado facilita el manejo ambiental y el monitoreo de zonas que fueron afectadas por incendios en el estado de Chihuahua - México. Asimismo, un estudio realizado en Bolivia por Rodríguez (2012), evaluó daños sufridos en la superficie total del territorio a través de la teledetección, también se localizaron lugares con una presión considerablemente mayor y se identificaron patrones de conversión del bosque. El monitoreo de las áreas quemadas en el período 2000 – 2010 mostraron un total de 22 012 910 ha de las cuales el 20 %

equivale a la quema de bosques mientras que las áreas restantes pertenecen a incendios en sabanas y pastos. Para validación de dicho análisis se aplicó el NBR a imágenes satelitales Landsat TM de 30 metros de resolución.

Ecuador es otro ejemplo de países afectados por incendios forestales. Ospina (2017) realizó un mapeo de las áreas forestales incendiadas a nivel nacional, utilizando la información del satélite MCD45A1 del portal de la NASA entre el año 2000 y 2016, se generaron mosaicos del área de estudio, y se extrajo información mes a mes con el fin de evitar la generación de datos erróneos. El estudio indica que el norte de la región Sierra es la más afectada con un total de 538 áreas incendiadas, es decir, 25 687.90 ha. Cabe recalcar que la provincia de Pichincha es la más perjudicada de todo el país con un total de 116 áreas quemadas. Según Anrango y Chingal (2019) los datos estadísticos presentados por la Secretaría de Gestión de Riesgos en el año 2018 muestran la pérdida de cobertura vegetal ocasionada por 929 incendios registrados que equivale a 13 452.60 ha. Dichos eventos se presentaron mayoritariamente en las provincias: Azuay, Chimborazo, Pichincha y Loja. En cuanto la provincia de Imbabura, se registraron 489.60 ha de cobertura vegetal afectadas por un total de 60 incendios.

Los estudios que abarcan los incendios forestales también se enfocan a nivel provincial como en Chimborazo, donde Toaza (2019) ejecutó un estudio desde la perspectiva multitemporal sobre la aplicación de tecnologías geoespaciales, para estimar las áreas quemadas en la provincia mencionada. Se utilizó un producto mensual MCD64A1 MODIS con 500 m de resolución espacial e imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8, aplicando el uso profesional del software QGIS 3.4. Las áreas de cobertura vegetal que presentaron una afectación mayor por incendios son el páramo con 2115.04 ha y las plantaciones forestales con 167.03 ha. El cantón Colta, presentó mayor incidencia de incendios forestales.

A nivel cantonal, la cantidad de incendios en áreas de cobertura vegetal han demandado estudios como el de Montoya (2015) realizado en el Distrito

Metropolitano de Quito, en donde elaboró un análisis multitemporal de incendios forestales, con el manejo de sistemas de información geográfica en sinergia con el análisis de imágenes satelitales por sensores remotos, que constituyen factores determinantes al momento de tomar decisiones en la preparación de planes de contingencia frente a incendios forestales, con el principal objetivo de disminuir el impacto negativo que producen en las áreas de cobertura vegetal, salvaguardando la salud de las mismas. Las herramientas utilizadas en el estudio mencionado son ampliamente útiles para instituciones encargadas de generar información, como es el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (COE). Montalvo (2020) da a conocer la ocurrencia de incendios en zonas de cobertura vegetal en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante un análisis de distribución espacio – temporal, durante el periodo 2014 – 2019, con la ayuda del software QGis v.3.10. En dicho período el distrito presentó 12 003 incendios forestales equivalente a 8533.77 ha de cobertura vegetal afectada.

El cantón Ibarra es otro ejemplo de territorios que han sufrido de una cantidad significativa de incendios en su cobertura vegetal, por lo tanto, existen estudios como el de Arango y Chingal (2019), que plantean una zonificación de cobertura vegetal propensa a incendios, identificando áreas de cobertura vegetal homogéneas con mayor susceptibilidad a estos eventos. Se utilizaron factores que inciden de forma directa con los incendios producidos en la cobertura vegetal como: precipitación, evapotranspiración, temperatura, entre otros. Los factores mencionados fueron reclasificados por medio de sistemas de información geográfica (SIG), que posteriormente se ponderaron mediante un proceso analítico jerárquico (AHP) de Saaty. En los resultados se mostró que, la categoría de susceptibilidad “extremo” representa el 14.55% del cantón lo cual, equivale a 15 810.70 ha. También se realizó en el cantón, un estudio en el que se evidenció los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal donde se utilizaron imágenes Landsat correspondientes a los años 1991, 2017 y Aster del año 2001 (Rosero, 2017).

1.2 Problema de investigación y justificación

Actualmente los incendios forestales son una problemática a nivel global, causada por diferentes factores como: la falta de educación ambiental, actividades antrópicas, el cambio climático entre otros (Vargas, 2017). Según Abatzoglou y Williams (2016), el cambio climático de origen antrópico (CCA) acompañado de los cambios climáticos naturales, contribuyen significativamente en el aumento de los incendios forestales en las últimas décadas.

América del Sur es una región con alta biodiversidad, sin embargo, se ve afectada por los incendios de la cobertura vegetal. El estudio realizado por Manta (2013) indica que el cambio de uso del suelo, la extracción abrupta de materias primas y la deforestación, son los principales problemas que conducen al cambio climático, por ende, las épocas de incendios forestales son más duraderas en la región. En el Ecuador, los incendios representan una amenaza significativa para la cobertura vegetal, el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (2020) registró 1962 incendios forestales desde enero hasta noviembre en el año 2020, representando la pérdida de 23 462.94 ha.

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de Imbabura (2020), una de las mayores causas de pérdida de cobertura vegetal en la provincia son los incendios forestales. La Secretaría de Gestión de Riesgos en el año 2019 reportó 261 incendios en la provincia, siendo el cantón Ibarra el que presentó el mayor número de estos eventos con una cifra de 113, siendo el segundo cantón con más afectación de superficie, con un total de 534.22 ha quemadas. Es por ello, que es necesario estudiar el comportamiento de los incendios forestales en los últimos años en el cantón Ibarra, con la finalidad de analizar las diferentes razones del porqué los incendios forestales aumentan en los últimos años y proponer estrategias de control.

La presente investigación se enmarca con el proyecto de: Zonificación de cobertura vegetal propensa a incendios en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura, dirigida por el Ing. Darío Arias, y está relacionada con el eje de Seguridad Integral

del Plan de Creación de Oportunidades 2021- 2025, en donde el objetivo 9 menciona el garantizar la seguridad ciudadana, orden público y gestión de riesgos, en su política menciona la importancia de reducir los riesgos y la atención oportuna ante los desastres naturales o antrópicas en todos los sectores del territorio nacional (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el cambio histórico multitemporal de cobertura vegetal producido por incendios en el cantón Ibarra.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios entre los años 2010 y 2020.
- Realizar un análisis de la cobertura vegetal post incendio en las áreas afectadas.
- Establecer una propuesta de restauración en las áreas incendiadas del cantón Ibarra.

1.3 Preguntas directrices de la investigación

- ¿Qué áreas de cobertura vegetal ecológicamente importantes han sido afectadas por incendios en el cantón Ibarra?
- ¿Qué se necesita para la implementación de estrategias para la prevención de incendios en las áreas de cobertura vegetal en el cantón Ibarra?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico referencial

2.1.1. Análisis multitemporal

Es un procedimiento que tiene como objetivo principal capturar datos numéricos y geográficos, con el fin de crear una base de datos sobre la cobertura de un territorio y tiempo determinados, a una escala de 1:100 000 por medio del análisis de imágenes satelitales. El análisis multitemporal se realiza mediante la comparación de imágenes satelitales de la misma área de estudio con fechas diferentes para poder realizar diferentes análisis según lo requerido en un estudio, como el cambio de cobertura vegetal, derretimiento de glaciares, entre otros (Fonseca y Gómez, 2013). Los incendios pueden afectar radicalmente la cobertura vegetal de una zona y, en consecuencia, se requiere de un análisis multitemporal que determine los cambios sufridos en la extensión del área de estudio en un período de tiempo determinado, generando información acerca del estado de la vegetación que sirva como línea base para diferentes estudios y proyectos de restauración (Columba et al., 2016). El análisis multitemporal al ser de tipo espacial constituye una alternativa viable para evaluar los cambios de las áreas de cobertura vegetal producidos por incendios en el cantón Ibarra.

2.1.1.1. Imágenes satelitales

Gómez et al. (2013) mencionan, que son imágenes captadas por los sensores digitales de un satélite, los cuales cuentan con miles de detectores de tamaño diminuto capaces de medir la cantidad de radiación electromagnética reflejada por la superficie de la tierra, es decir, una medición espectral. Los valores producidos por la reflectancia espectral son registrados como números y son transmitidos nuevamente hacia la tierra y con un procesamiento, se convierten en matices grises o en colores, dando como resultado una imagen satelital. La ventaja principal que

posee la teledetección es la información actualizada que puede proporcionar. Choza (2019) manifiesta que, las imágenes satelitales nos brindan información, en algunos casos, con suficiente detalle y una variación temporal de días o incluso horas para elaborar un análisis multitemporal de un período requerido. La recopilación de imágenes satelitales en el presente estudio es indispensable para analizar los momentos capturados de diferentes fechas en donde ocurrieron incendios en el cantón Ibarra, dejando en evidencia los cambios sufridos en su cobertura vegetal gracias al espectro de bandas que tiene cada imagen satelital, las mismas que pueden ser utilizadas para la aplicación de índices multiespectrales.

2.1.1.2. Post procesamiento de imágenes satelitales

Es el procesamiento inicial de los diferentes datos crudos sin manipular para corregir todas las distorsiones radiométricas y geométricas de la imagen (Santos et al., 2014). Según Casella et al. (2019) el post procesamiento de imágenes tiene como objetivo, maximizar la precisión de los resultados para la elección de la imagen, tomando en cuenta el estudio para el que se necesita y el fenómeno a evaluar, además, se toma en cuenta factores específicos de las imágenes, como la cobertura de nubes. En los fenómenos de incendios forestales normalmente se realizan correcciones radiométricas que permitan mejorar la calidad de visualización en los píxeles de la imagen, diferenciando con más precisión las áreas afectadas por incendios, de la cobertura vegetal intacta (Aguilar et al., 2014).

2.1.1.3 Matriz de confusión

También conocida como matriz de contingencia, Ariza et al. (2018) afirma que esta herramienta estadística permite realizar una comparación entre dos clasificaciones para analizar las observaciones que han sido emparejadas, la matriz de confusión es el medio estándar que verifica la exactitud temática de los datos obtenidos de un proceso de teledetección, también se utiliza para evaluar la calidad temática que poseen los diferentes tipos de datos espaciales, como en el caso del presente estudio, donde los datos de cobertura vegetal en áreas afectadas por

incendios generados con imágenes satelitales e índices espectrales se compararon con datos obtenidos en campo con la ayuda de un GPS, con el fin de generar el coeficiente Kappa.

- ***Coeficiente Kappa***

Es una herramienta estadística que permite comparar datos de vegetación resultantes de la recopilación de patrones espaciales que fueron observados. Se utiliza para medir la diferencia existente entre lo observado en la realidad y lo que se esperaría visualizar al azar (Pla et al. 2017). Arenas et al. (2011) manifiestan que el coeficiente Kappa puede tomar valores entre -1 y 1, teniendo en cuenta que entre más cercano a 1, mayor es el grado de concordancia. Los datos sobre el estado de las áreas de cobertura vegetal que son afectadas por incendios, deforestación, expansión de la frontera agrícola, entre otras causas, requieren de un proceso de validación por medio de la matriz de confusión y el coeficiente Kappa para determinar el grado de concordancia de los datos y validarlos.

2.1.2. Evaluación de áreas incendiadas

Según Michalijos y Uboldi (2013), el fuego es un elemento natural que produce cambios paisajísticos con el fin de intervenir en los procesos de evolución y mantenimiento de los ecosistemas. Con el transcurso del tiempo, el hombre ha alterado de manera significativa el ciclo natural de los incendios, provocando que sus dimensiones aumenten de manera drástica, acabando con áreas de cobertura vegetal. Heredia et al. (2003) afirman que, la existencia de herramientas de teledetección representan una alternativa confiable para evaluar las áreas que han sufrido incendios, permitiendo realizar una observación sistemática de la superficie afectada y de la información espectral de un área de estudio, por ello es posible realizar un análisis multiespectral de varias áreas de cobertura vegetal al mismo tiempo, o ejecutando análisis de áreas específicas en diferentes lapsos de tiempo, evaluando el estado de la vegetación pre y post-incendio.

2.1.2.1 Herramientas de teledetección aplicadas a incendios

En la actualidad, los organismos que combaten el fuego previniendo incendios o evaluando los daños que causan en diferentes áreas, dependen de la información que proporciona la teledetección y los distintos softwares SIG (Sistemas de Información Geográfica). Molina et al. (2019) resalta que el uso de la teledetección es de amplitud considerable en la temática de incendios en áreas de cobertura vegetal por la información georreferenciada que proporcionan las imágenes satelitales, aportando información para analizar el estado de la cobertura vegetal afectada por incendios en el área de estudio pertinente. La información que proporcionan las imágenes satelitales: Landsat 7, Landsat 8, Sentinel 2, PlanetScope y RapidEye; son fundamentales para realizar un análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas en el cantón Ibarra, además, el uso de plataformas como *Earth Map*, permite obtener datos de períodos de tiempo donde se registraron diferentes incendios en el área de estudio, gracias a la información que se genera en *Google Earth Engine* y la gestión de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ‘FAO’.

2.1.2.2. Índices de incendios mediante imágenes satelitales

Los índices espectrales son utilizados para delimitar un área determinada que ha sufrido transformaciones en su cobertura por incendios (Michalijos y Uboldi, 2013). A continuación, se presentan algunos índices aplicados a incendios:

- ***Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)***

Barboza et al. (2020) confirma que es un índice de vegetación muy conocido y ampliamente usado en estudios de teledetección, tiene en cuenta la cantidad de luz roja visible absorbida por la vegetación verde, es decir, es sensible al contenido de clorófila u otros pigmentos que absorba la radiación solar, en marcado al rojo del espectro electromagnético. Sus valores están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. Según

Díaz (2015), el NDVI se basa en el peculiar comportamiento radiométrico que tiene la vegetación, relacionado con la estructura foliar y la actividad fotosintética que permite determinar la vigorosidad presente en las áreas de cobertura vegetal en donde existieron incendios forestales, mermando en los niveles de humedad presente de la vegetación afectada. Además, el autor hace referencia a la escala en la que se maneja el índice, señalando que los valores del NDVI oscilan entre -1 a 1 , donde los valores negativos representan superficies sin cobertura vegetal como consecuencia de la intensidad del fuego en un incendio.

- ***Índice de área quemada (BAI)***

Según Michalijos y Uboldi (2013), este índice mide la similitud espectral que existen entre los píxeles de la imagen satelital y un punto de convergencia hacia una zona quemada, dominando la señal del carbón, permitiendo identificar las áreas de la superficie que fueron afectadas por incendios. Gómez y del Pilar (2008) mencionan que el índice multiespectral BAI se basa en los rasgos espectrales de los materiales que fueron carbonizados en un incendio con el concepto de la distancia euclidiana que posee cada píxel de una imagen satelital, el índice BAI tenderá a presentar valores altos en las áreas quemadas ya que existe una estrecha relación entre el valor del índice con la proporción de biomasa y por tanto, mayor combustible existente en la zona; las áreas afectadas por incendios tienen una mayor señal de carbón que corresponde a las áreas de vegetación calcinada diferenciándose de la vegetación intacta en los diferentes sectores de un área de estudio.

2.1.2.3. Recuperación de la vegetación

Una vez recopilada la información sobre la ubicación, magnitud, daño y extensión de los distintos incendios forestales, Navarro et al. (2015), indica la importancia que tiene la recuperación de la vegetación post-incendio, para ello es indispensable conocer los daños ambientales, impactos a la biodiversidad y la verificación de la cartografía pre-incendio. Según Méndez et al. (2016), varios

ecosistemas tienen la facilidad de empezar un proceso de recuperación del área después de un incendio forestal, sin embargo, la intervención humana es fundamental para realizar proyectos de restauración y reforestación en el caso de ecosistemas que no puedan hacerlo de manera natural; adicionalmente, la recopilación de información sobre proyectos elaborados en áreas de estudio con difícil recuperación, aporta a futuras investigaciones y proyectos que tengan como objetivo restaurar la vegetación afectada por incendios.

2.1.3. Restauración de áreas incendiadas

El cambio del uso de suelo, la deforestación, el cambio climático, entre otros, han causado que varios ecosistemas sean más propensos a incendios forestales, por este motivo varios estudios indican que la región Andina ha sido ampliamente modificada y como consecuencia, la vulnerabilidad a incendios forestales incrementa (Armenteras et al. 2011). Además, el cambio climático provoca que algunas áreas de los bosques se tornen vulnerables a incendios forestales por consecuencia de la desecación (Herzog et al. 2011). Es importante realizar planes de conservación y restauración de ecosistemas, según Fernández et al. (2016), la recuperación de la vegetación después de un incendio forestal depende del potencial biótico y los individuos sobrantes capaces de reproducirse, incluso de factores antrópicos como el socio dinamismo y el banco de semillas. Los ecosistemas por sí solos pueden regenerarse, no obstante, al momento que el ser humano interviene para realizar una restauración este proceso puede acelerarse. La SER (2004) afirma que, la restauración busca la recuperación absoluta del ecosistema, recuperando la flora y fauna nativa, además de los componentes como: agua, suelo, clima y microorganismos. Es importante caracterizar la regeneración natural como punto eje de un plan de restauración y así proponer estrategias.

2.1.4. Cobertura vegetal

Seingier et al. (2009) mencionan que, la cobertura vegetal es un indicador importante utilizado para analizar el estado del ambiente, es decir, la comparación

entre el porcentaje de cobertura natural y la superficie de vegetación alterada por las actividades antrópicas como la tala de bosques para sembrar pasto con el fin de alimentar al ganado, la expansión de carreteras, frontera agrícola, la extracción del recurso maderero, incendios forestales, etc. También es útil al momento de estimar el grado de transformación que ha sufrido un área o región determinada por la quema de biomasa producida por incendios, en el caso del cantón Ibarra la cobertura vegetal ha sido afectada tanto por la expansión de la frontera agrícola como por los incendios registrados durante años, por lo que es necesario la ejecución de un análisis multitemporal de las áreas afectadas (Rosero, 2017).

2.1.4.1. Pérdida de cobertura vegetal

La pérdida de cobertura vegetal natural es afectada principalmente por el avance de la frontera agrícola, volviendo a los terrenos susceptibles a deslizamientos (Donoso, 2012). La afectación en la cobertura vegetal puede ocasionar mortalidad de árboles, pérdida local de especies, disminución en la capacidad regenerativa de la vegetación, afectación del suelo, llegada de especies invasoras e invasión de plagas. Anrango y Chingal (2019) afirman que los incendios forestales causan un daño grave en la pérdida de la cobertura vegetal por su velocidad de propagación en los ecosistemas, ocasionando daños locales, regionales y globales por los diferentes gases expulsados.

2.1.5. Cambios de uso del suelo

Cuando existe una manipulación física del suelo para la producción de alimentos en la agricultura y ganadería, se refiere al uso del suelo, entonces el cambio de uso del suelo según Ramos et al. (2004), es cuando ocurren cambios constantes en la superficie terrestre como consecuencia de los asentamientos humanos, expansión de las actividades agrícolas, construcción de carreteras, etc. Soria et al. (1998) menciona la importancia de realizar estudios sobre los cambios que sufre la cobertura del suelo, ya que permite conocer las tendencias de los procesos que perjudican al suelo como la desertificación, degradación y pérdida de

biodiversidad en un área de estudio determinada, además, los cambios de uso del suelo son capaces de aumentar la probabilidad que tiene la vegetación a sufrir incendios.

2.1.6. Estrategias de conservación

Ecuador es un país con alta biodiversidad biológica por diferentes factores como la cordillera de los Andes y las dos corrientes marinas que han dado lugar a la creación de diferentes ecosistemas, variando en sus tipos de clima (Velázquez, 2014). Ecuador al ser un país megadiverso, es necesario que se propongan estrategias para conservar la fauna, flora, componentes bióticos y abióticos de un ecosistema. Camacho y Ruiz (2011) plantean la importancia de cuidar el medio ambiente, no solo por su belleza paisajística, también por los diferentes servicios ecosistémicos que brindan a los seres humanos como los servicios de provisionamiento, regulación, culturales y soporte. La vegetación que ha atravesado por incendios requiere estrategias para acelerar la recuperación de las áreas afectadas, también existen estrategias destinadas a la prevención y aislamiento de amenazas las cuales son ideales para la protección de un ecosistema; también, los autores mencionan que la educación ambiental es una estrategia clave cuando se plantea como objetivo proteger la naturaleza representativa de un área de estudio en donde existen comunidades urbanas, la intervención de la población es la herramienta que garantiza la conservación del medio ambiente a largo plazo.

2.1.6.1. Técnicas de conservación ex situ

Varios ecosistemas han sido afectados por la intervención humana y natural, como incendios forestales, derrames de petróleo, minería, tala de árboles, entre otros, lo que ha causado que varios ecosistemas se vayan fragmentando y perdiendo, causando que varias especies se queden sin un sitio en donde subsistir o queden gravemente heridos debido a los incidentes (García, 2016). Según Valdés (2007) las técnicas de conservación ex situ brindan un sitio óptimo para el desarrollo,

rehabilitación y recuperación de las especies, que llegaron con lesiones físicas o psicológicas por maltrato. La fauna sobreviviente de un incendio forestal requiere de una incorporación progresiva hacia un medio natural, garantizando la adaptación de los individuos.

- ***Banco de germoplasma.***

Son sitios estratégicos, en donde se conserva el material vegetal vivo y con la capacidad de reproducirse. Las especies vegetales se pueden conservar por: semillas, polen, esporas, plantas en crecimiento o tejido vegetal (Tapia et al. 2014). Medina (2006) menciona que, para la restauración de un ecosistema, es de gran importancia tener individuos vivos de las especies nativas y endémicas del sitio, y así tener un grupo especies capaces de restaurar un área que ha sido afectada por algún factor antrópico o natural como un incendio forestal que calcine todas las especies de flora de un área determinada, incluso para tener la información genética para la producción agrícola de alimentos, por ello es que los bancos de germoplasma son de suma importancia a nivel nacional y mundial.

- ***Centros de tenencia y reproducción de vida silvestre***

Son instalaciones que cuidan, conservan, rehabilitan y protegen las diferentes especies de fauna y flora. Un claro ejemplo son los zoológicos, los cuales tienen como objetivo la conservación y protección de la fauna silvestre, mediante la investigación científica, la educación y comunicación ambiental (Ulloa, 2016). Son especialmente necesarios al momento de proteger una especie representativa de un área que ha sido afectada por eventos antrópicos como los incendios forestales hasta que exista un recuperación o restauración del medio natural.

2.1.6.2. Técnicas de conservación in situ

En los últimos años, los bosques se han ido fragmentando por la expansión de la frontera agrícola, el crecimiento demográfico y la apertura de nuevas vías, lo que ocasiona que la biodiversidad existente en esas zonas se vea amenazada. No siempre se puede proteger la fauna y flora en centros de rescate o zoológicos, por lo que existen las técnicas de conservación in situ que consisten en conservar grandes extensiones de bosques naturales, y evitar su fraccionamiento o intervención humana que dañe al ecosistema (FAO, 2010). Las áreas protegidas son el mejor ejemplo de conservación in situ, resaltando las estrategias y planes de contingencia que poseen para prevenir incendios en la cobertura vegetal o mitigar todo el daño posible para garantizar la protección y conservación de las especies que se encuentran en un área protegida determinada. Los incendios pueden consumir áreas de cobertura vegetal representativas del cantón Ibarra, necesitando estrategias que aíslen a la vegetación de amenazas antrópicas (Vásquez, (2019)

2.1.7. Formaciones vegetales

Las formaciones vegetales o conocidas normalmente como zonas de vida se encuentran condicionadas por factores como la temperatura, precipitación y humedad, además de la altitud y el tipo de relieve del terreno (Suarez, 2018). Según Donoso (2012) el cantón Ibarra, por su posición geográfica está condicionado en su mayoría por formaciones vegetales secas como son: el bosque húmedo montano, bosque húmedo montano bajo, bosque húmedo premontano, bosque muy húmedo montano, bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo subalpino, bosque seco montano bajo, bosque seco premontano, estepa espinosa montano bajo y monte espinoso premontano.

2.2. Marco legal

2.2.1. Constitución política de la república del Ecuador

A continuación, se explican y redactan todos los artículos de la constitución de la república del Ecuador que tienen relación con la presente investigación:

Según el artículo 14 del Título II de la Constitución de la República del Ecuador del 2008, se establece la importancia de la preservación y cuidado del medio ambiente, para ser declarado de interés público, de esta manera las autoridades y la población pueden ser más conscientes sobre el daño ambiental, además de la creación de estrategias o planes de manejo para su conservación, protección y restauración de ecosistemas afectados por incendios en cobertura vegetal u otra causa (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En el artículo 264 y 389 del Título V, de la Constitución de la República del Ecuador (2008), se menciona la prevención, protección, socorro y extinción de los incendios, también se detalla que una parte del presupuesto sea invertido en el control de incendios forestales, ya que muchas veces no se cuenta con el personal y equipo necesario para atender estas alertas. En el artículo 289 también se propone destinar los recursos necesarios para el control y prevención de los desastres ambientales como los incendios forestales, ya que uno de estos fenómenos puede ocasionar muertes, pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos, donde radica la importancia de la prevención de incendios, ya que muchas veces se pueden evitar o controlar a tiempo dichos desastres con educación ambiental y personal capacitado con buen equipo técnico.

Finalmente, el artículo 390 y 397, Constitución de la República del Ecuador (2008) detallan que, en varias ocasiones, los incendios se propagan rápidamente y no siempre se tiene los insumos y recursos necesarios para combatir estos desastres de forma rápida y eficiente, por lo tanto, es de vital importancia que otras instancias

ayuden a frenar estos desastres naturales. Además, los incendios forestales han sido causados por entidades privadas que, de acuerdo al artículo 397, serían los responsables de dichos eventos, sin embargo, la mayoría de las veces los incendios forestales son ocasionados por personas naturales que sin tener el conocimiento y conciencia, realizan fogatas o quema de matorrales y en la mayoría de los casos, nunca se encuentra al principal responsable, por lo que es mejor tener un personal eficiente y capacitado para combatir estos desastres, contando con planes de acción inmediata para contrarrestar los impactos negativos todo lo posible, salvaguardando la integridad de los recursos naturales.

2.2.2. Código Orgánico Ambiental

En el Art. 26, correspondiente al Título II, Capítulo II que se encuentra en el Código Orgánico del Ambiente (2019), en el marco de las competencias ambientales, tanto concurrentes como exclusivas, los Gobiernos Autónomos Descentralizados de cada provincia deben elaborar programas, proyectos y planes que tengan el objetivo de prevenir eventos como son los incendios en bosques naturales o plantados, también en las demás áreas de cobertura vegetal natural. El presente estudio contribuirá en la elaboración de dichos proyectos y planes con el fin de mitigar los impactos ambientales negativos producidos por incendios. Cabe recalcar que en el artículo 26 anteriormente mencionado, existen 12 normas en total, sin embargo, solo se menciona la cuarta norma ya que es la única que se relaciona con el tema de las áreas de cobertura vegetal afectadas por los incendios.

En el Título VI Régimen Forestal Nacional, Capítulo III, Art. 98 Código Orgánico del Ambiente (2019), en su séptima atribución menciona que, a la Autoridad Nacional de Agricultura, en conjunto con la Autoridad Ambiental Nacional, deben dictar una normativa técnica con el fin de controlar y sobre todo prevenir los incendios forestales, evitando los daños que causan a los sistemas agroforestales y plantaciones forestales. Las plantaciones forestales y sistemas agrícolas conforman una gran parte de la cobertura vegetal de todo el cantón, por

lo que la normativa dictada en el artículo 98 es fundamental para evitar la pérdida de los recursos como consecuencia de incendios.

Del Título II de la Adaptación y Mitigación del Cambio Climático, Capítulo II Medidas Mínimas para Adaptación y Mitigación, en el Art. 261 Código Orgánico del Ambiente (2019) menciona en su tercera medida, que se debe realizar una identificación de acciones de prevención y control de quema de biomasa en los diferentes ecosistemas existentes en cada localidad. Con el presente estudio, se puede determinar la gravedad de las áreas de cobertura vegetal en las que no fue posible controlar los incendios, por ende, se puede proponer una estrategia de restauración apropiada para cada caso.

En el Título III, del Código Orgánico del Ambiente (2019), de los Riesgos Originarios por Eventos Naturales, indica que, en zonas de los riesgos originados por eventos naturales, como son los incendios, se prohibirá cualquier tipo de actividades por la autoridad competente, en este caso, la Autoridad Nacional a cargo de la Gestión de Riesgos. Esto facilita los procedimientos necesarios para aplicar una propuesta de restauración de áreas de cobertura vegetal incendiadas, ya que se bloquea el factor antrópico originado por la actividad humana.

2.2.3. Código Penal Ecuatoriano

El artículo 437-H, Código Penal Ecuatoriano sobre Delitos Contra el Medio Ambiente (2020), explica que, aquellas personas que interfieran de manera negativa en bosques u otras formaciones vegetales, como es el caso de los incendios forestales provocados por actividades antrópicas, será reprimido con prisión alrededor de uno a tres años, en caso de que la quema del sitio afecte a la disminución de aguas naturales o erosión del suelo, la condena puede ser de dos a cuatro años de prisión.

2.2.4. Ordenanza que Norma el Plan de Gestión Ambiental en el Cantón San Miguel de Ibarra

En el Capítulo III Competencias Ambientales, Art. 6 Facultades en Materia Ambiental, en su cuarta facultad, menciona que, se deben prevenir y controlar los incendios en áreas de cobertura vegetal naturales, al igual que a plantaciones forestales, para lo cual se deben tomar acciones necesarias como son los diferentes estudios acerca de eventos con quema de biomasa (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, 2017).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El cantón Ibarra tiene una extensión de 1105.65 km² y se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, al norte de la región interandina. El cantón limita al norte con la provincia del Carchi, al noreste con la provincia de Esmeraldas, al oeste con los cantones Urcuquí, Antonio Ante y Otavalo, al este limita con el cantón Pimampiro y la provincia del Carchi, al sur con la provincia de Pichincha (Figura 1). Se encuentra en un rango altitudinal que oscila entre los 483 msnm y 4555 msnm y se encuentra conformado por cinco parroquias urbanas: Alpachaca, Caranqui, El Sagrario, Priorato, San Francisco, y siete parroquias rurales: Angochagua, Ambuquí, La Carolina, La esperanza, Lita, San Antonio, Salinas. Los incendios significativos analizados tienen una extensión mayor a 50 ha registrados en las parroquias: La Carolina, San Miguel de Ibarra, Ambuquí y Angochagua.

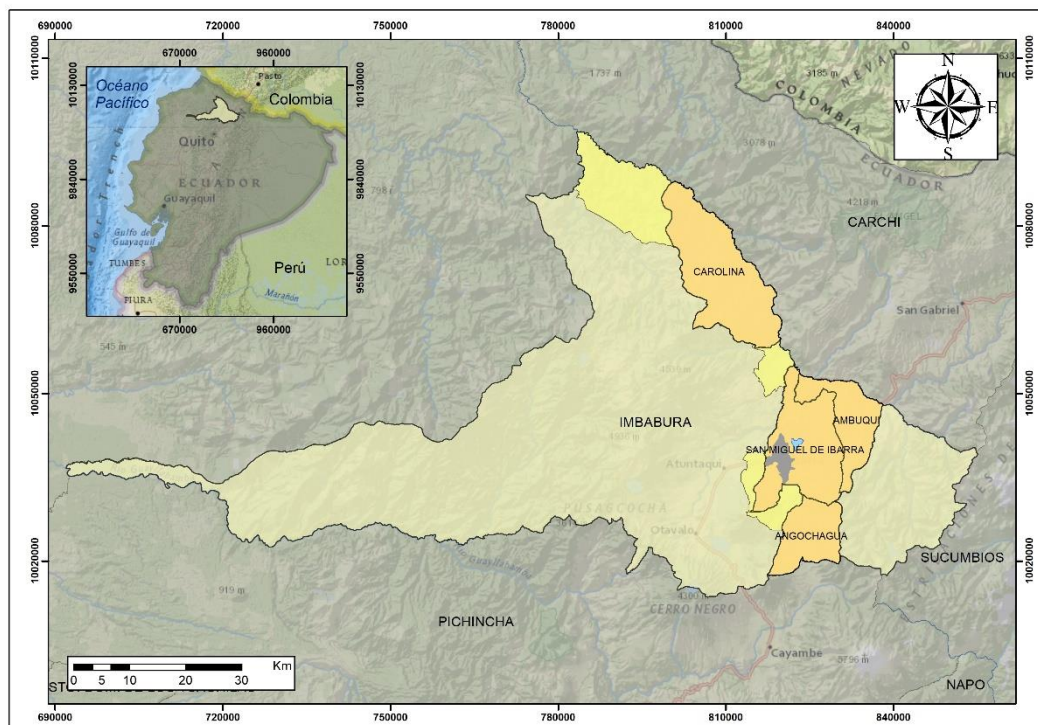


Figura 1. Ubicación del Cantón Ibarra

Tabla 1. Coordenadas UTM del cantón Ibarra, zona 17 sur

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud m.s.n.m.
Norte	785626	10092736	1186
Sur	820123	10016409	3474
Este	838234	10045048	1901
Oeste	784153	10087064	902

3.1.1 Clima

Según la clasificación de Pourrut, el clima se clasifica de acuerdo con la temperatura y precipitación, Donoso (2012) menciona que el cantón Ibarra posee un clima semihúmedo mesotérmico, sin embargo, al analizar cada parroquia se obtiene una variedad de climas; en donde, Ambuquí, San Miguel de Ibarra, Salinas y San Antonio poseen un clima seco mesotérmico; en Angochahua, La Carolina y La Esperanza el clima es semihúmedo mesotérmico; y finalmente en Lita se tiene un clima húmedo megatérmico.

3.1.2 Humedad relativa

Donoso (2012) menciona que la humedad relativa presente en la parte norte del cantón Ibarra oscila entre 80.70 % y 88.28%. En las parroquias: La Carolina, Ambuquí y Salinas, tienen entre 82.81% y 88.29% de humedad relativa, mientras que la parroquia Lita, presenta valores que oscilan entre 91.02% y 96.49%, siendo el cantón con más humedad relativa existente.

3.1.3 Temperatura

Las parroquias del cantón presentan una temperatura variada, como Ambuquí con temperaturas que oscilan desde los 6 °C hasta 20°C; por otro lado, la temperatura de la parroquia Angochagua oscila entre los 6 °C y 12 °C; La Carolina tiene temperaturas muy variadas por sus rangos altitudinales cambiantes, estas oscilan entre 8 °C en las zonas más altas y 22 °C en las más bajas. Continuado con La Esperanza, se tiene temperaturas entre los 8 °C y 14 °C como máxima; San

Miguel de Ibarra tiene temperaturas entre los 6 °C en las partes más altas ubicadas en el volcán Imbabura y 20 °C en las zonas más bajas (Donoso, 2012).

3.1.4 Precipitación

La precipitación en el cantón Ibarra es muy variada, debido a la altimetría del terreno, dirección del viento, proximidad de dos regiones, entre otros; al analizar las parroquias, se obtiene que la precipitación promedio de la parroquia Ambuquí es de 462 mm anuales, Angochagua por otro lado tiene una precipitación de 1694 mm anuales, la Carolina registra una precipitación anual de 1092 mm, la parroquia Lita presenta una precipitación de 1376 mm y la parroquia San Miguel de Ibarra tiene 1784 mm (IMI, 2008).

3.1.5 Tipos de ecosistemas

Los ecosistemas son un conjunto de organismos vivos que comparten un mismo hábitat o biotopo (Armenteras et al. 2011). En el cantón Ibarra existen ecosistemas acuáticos lénticos como la Laguna de Yahuarchoca y lóticos como el Río Tahuando, también hay ecosistemas terrestres como los bosques plantados de Angochagua, cuya especie predominante es el *Eucaliptus globulus*, por otro lado, la parroquia La Esperanza, Ambuquí, Salinas y San Antonio muestran un sistema ecológico, cuya fisonomía representativa es arbustal, en cambio, Lita tiene un ecosistema de bosque, ya que presenta mucha humedad (Beltrán y Pozo, 2012).

3.1.6 Factores topográficos

Varios factores topográficos que inciden en la propagación del fuego son las pendientes, orientación de terreno, entre otros. Referente al área de estudio existen pendientes que oscilan entre 15-45% (Anrango y Chingal, 2019). En el cantón Ibarra existen diferentes elevaciones, montañas y volcanes, como el volcán Cubilche que se encuentra a 10 km de San Miguel de Ibarra y se caracteriza como

un volcán de bajo riesgo, también se observa al volcán Imbabura con una altitud máxima de 4620 msnm y una pendiente promedio de 33° (Jácome et al. 2020).

3.1.7 Tipos de cobertura vegetal existentes

Referente a la cobertura vegetal existente en el cantón Ibarra, según un estudio realizado por Arango y Chingal (2019), las coberturas de cultivos y páramos ocupan 24.46 % de la superficie total del área de estudio, con una susceptibilidad extrema a incendios, el 65% del territorio está conformado por coberturas de bosque, pastizal y vegetación, con una susceptibilidad alta a la quema de biomasa.

3.2 Métodos

Los métodos que se usaron a lo largo de la presente investigación se basan en los aspectos técnicos del estudio, en la óptima generación de resultados para el cumplimiento de los objetivos, las características del problema y la resolución de las preguntas directrices.

3.2.1 Caracterización de las áreas afectadas por incendios de la cobertura vegetal entre los años 2010 – 2020

3.2.1.1 Obtención y análisis de información

Se obtuvo el historial de los incendios en áreas de cobertura vegetal registrados en el cantón Ibarra en el período 2010 – 2020 de la Dirección Provincial de Gestión de Riesgos de Imbabura, junto a las coordenadas, tipo de vegetación afectada y la superficie de cada uno. Se realizó una depuración de la información con el fin de identificar los incendios que representan un mayor impacto negativo en la cobertura vegetal del cantón Ibarra según su extensión. Se realizaron dos tablas en donde se ubicó los incendios de 10 a 50 hectáreas (Anexo 1), los cuales no se estudiarán por la importancia de trabajar con incendios de mínimo 50 hectáreas debido a la resolución de las imágenes satelitales, para una mejor visualización de

los píxeles que conforman el incendio. Posteriormente, se realizó una segunda tabla con los incendios que se estudiaron en el presente trabajo los cuales tienen un mínimo de 50 hectáreas.

3.2.1.2 Determinación del estado de la vegetación de las áreas afectadas

Se utilizó la plataforma *EarthMap* para calcular el NDVI de las parroquias: La Carolina, Ambuquí, San Miguel de Ibarra y Angochagua en donde se registraron incendios de mínimo 50 ha. Los archivos *shapefiles* de las parroquias se subieron en formato KML con la ayuda del software *Global Mapper*, para la obtención de gráficas en las que se puede visualizar el NDVI de todo el período 2010 – 2020, por medio del satélite MODIS, con un píxel de 250 m de tamaño. Posteriormente se compararon los valores más altos y bajos obtenidos entre los diferentes años, y así se respaldó la información obtenida previamente con ayuda del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.

3.2.1.3 Clasificación de la cobertura vegetal de las áreas afectadas pre-incendio

Se utilizaron imágenes satelitales *Landsat 8*, *Landsat 7* y *Sentinel 2* de las parroquias, antes de las fechas en las que se registraron los incendios significativos, las imágenes *Sentinel 2* no fueron corregidas, ya que no presentan defectos atmosféricos gracias a su mediana resolución de 10 m en espectro visible. Por otro lado, las imágenes *Landsat 7* tuvieron un *Scanline error* las cuales se corrigieron mediante la herramienta *Fix Landsat 7 Scanline Errors* que se adicionó al *ArcToolbox* del software *ArcMap*[®]. Posteriormente se realizó una corrección atmosférica y radiométrica de las imágenes lo que fue de gran importancia en la investigación, ya que se estiman los números digitales de los píxeles que son erróneos en relación con los números digitales de los píxeles aledaños (Rosero, 2016). Se utilizó la herramienta *Radiometric Calibration* del software *ENVI*[®] 5.3, corrigiendo la radiancia y la reflectancia de la banda multiespectral de las imágenes *Landsat 7* y *Landsat 8* (Paz, 2018). Posteriormente se calculó el NDVI con la

ecuación 1, la cual ayudó al cálculo de las diferentes imágenes corregidas con el fin clasificar la cobertura vegetal de las parroquias, misma que se validó comparando con un *shapefile* de cobertura vegetal del cantón Ibarra del año 2019 obtenido del IGM. La clasificación utilizada se presenta en la Tabla 2.

$$NDVI = \text{Float} (NIR - RED) / \text{Float}(NIR + RED) \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

Float: Función que permite valores con decimales.

NIR: Banda infrarroja.

RED: Banda roja.

Tabla 2. Rangos establecidos para la interpretación del NDVI

Rango	Interpretación
-0.30 - 0	Suelo sin cobertura vegetal
0.01 - 0.10	Vegetación dispersa (Poca vegetación)
0.11 - 0.20	Vegetación moderada (Arbustos, prados)
0.21 - 0.40	Páramo - vegetación herbácea (Húmedo)
0.41 - 1.00	Vegetación densa o vigorosa (Alta humedad)

Fuente: Índices de vegetación de Merg, et al (2011)

3.2.2 Análisis post-incendio de las áreas de cobertura vegetal en el cantón Ibarra

3.2.2.1 Obtención de imágenes satelitales

Se adquirieron imágenes satelitales RapidEye, debido a que este satélite tiene una resolución espacial de 5 m, siendo ideal para la observación de las áreas afectadas y regeneración de la vegetación después de un incendio forestal, las cuales se recortaron en las zonas de las parroquias en donde se visualizaron incendios. Un estudio realizado en Bogotá, Colombia por Velandia (2019), utilizó las imágenes

satelitales RapidEye, ya que estas proporcionan una mejor calidad y se pueden visualizar los impactos ambientales de una forma más clara y así observar a detalle las áreas de sufrieron de incendios. La alta resolución de las imágenes satelitales mencionadas, permitieron visualizar con más detalle los cambios en la cobertura vegetal afectada por incendios presente en el cantón Ibarra. Todas las imágenes obtenidas se corrigieron en un mismo software y previo a su análisis (Zeballos et al., 2014).

3.2.2.2 Mosaicos de imágenes satelitales

Con el software *Global Mapper*, se realizaron mosaicos de las imágenes satelitales ya corregidas exportando los archivos rasters correspondientes en formato *GeoTIFF*, y se procedió a formar el mosaico de tipo multibanda de 16 bit de 5 bandas y seleccionar el color de cada banda de las imágenes RapidEye. Posteriormente en ArcMap[®], se cargó los mosaicos elaborados para aplicar los respectivos índices.

3.2.2.3 Índices espectrales aplicados en las áreas de cobertura vegetal post-incendio

- ***Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) aplicado a imágenes post-incendio***

Para el cálculo del NDVI, primeramente, se añadieron las bandas 3 y 5 de las imágenes RapidEye, las bandas 3 y 4 de las imágenes PlanetScope y las bandas 4 y 8 de las imágenes Sentinel-2, posteriormente se aplicó el índice mediante la herramienta *Image Analyst*. Al aplicar la ecuación 1, se obtuvo un ráster en escala de grises con valores de -1 a 1, sin embargo, para un mejor entendimiento se cambió la simbología para tener una paleta de colores y obtener un ráster de mejor entendimiento y visualización (Barboza et al., 2020).

- ***Índice de Área Calcinada (BAI)***

Según lo indicado por Gómez y del Pilar (2008), en el presente estudio se utilizaron los valores de reflectancia de la banda roja, y se generó un infrarrojo cercano del espectro de la imagen, midiendo la similitud espectral existente entre los píxeles de la imagen satelital y un punto de convergencia que tenderían las zonas quemadas en las cuales la señal del carbón es dominante, e identificar áreas de cobertura vegetal que fueron afectadas por incendios. Se utilizó herramienta *Raster Calculator* de *Map Algebra* en donde se aplicó la ecuación 2:

$$BAI = 1/((0.1 - RED)^2 + (0.06 - NIR)^2) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

Rojo = valores de píxel de la banda roja

NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana

Los de valores 0.1 y 0.06 son denominados valores de convergencia para áreas recientemente quemadas.

3.2.2.4 Depuración de polígonos de las áreas de cobertura vegetal afectadas

Se solicitó a SIG Tierras un modelo digital de elevación del cantón Ibarra para corregir las fallas topográficas que tiene el terreno, con el fin de evitar que el índice de áreas quemada (BAI), reconozca dichas fallas como áreas que fueron afectadas por los incendios registrados, sin embargo, la presente metodología no se pudo ejecutar, debido a un error en la corrección topográfica entre las imágenes RapidEye y Planet Scope con el modelo digital de elevación del cantón Ibarra, es por ello que se optó en cambiar a una metodología diferente, la cual consistió en calcular el BAI para realizar un recorte del polígono del área afectada y a su vez, para solucionar el error de las sombras y fallas topográficas, se fragmentaron los

polígonos para eliminar manualmente las sombras, y así obtener únicamente los polígonos de los incendios.

3.2.2.5 Comparación temporal de las áreas incendiadas

Mediante el uso del software ArcMap[®], se elaboró un modelo en donde se visualiza el archivo raster del BAI aplicado en la imagen del área incendiada, la reclasificación de la cobertura vegetal según los valores del NDVI de la imagen pre-incendio y la misma reclasificación de la cobertura vegetal del área post incendio en imágenes satelitales Sentinel-2 del año 2020. Esta metodología se aplicó a todos los incendios significativos clasificándolos por las parroquias en donde ocurrieron. Un estudio elaborado por Alva, (2018) señala la necesidad de tener imágenes satelitales pre-incendio y post-incendio en una comparación multitemporal para establecer un período de tiempo, su metodología indica períodos de 5 años.

3.2.2.6 Validación de resultados

Se utilizó la Matriz de confusión realizada en el software ArcMap[®], con una reclasificación hecha con base en los valores del NDVI obtenidos de las áreas de cobertura vegetal que fueron afectadas por incendios en las imágenes del año 2020, posteriormente, se compararon con puntos asignados en imágenes satelitales Sentinel-2, con el apoyo de las imágenes de alta resolución de *Google Earth*. Finalmente se generó el coeficiente Kappa con la escala que presenta la Tabla 3, utilizando la calculadora en línea de la matriz de confusión (Vanetti, 2017).

Tabla 3. Concordancia del coeficiente Kappa

Coeficiente Kappa	Fuerza de la concordancia
0	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Fuente: Concordancia del coeficiente Kappa (Cerde y Villaroel, 2008).

Adicionalmente, se realizaron cinco salidas de campo en las parroquias: La Carolina, Angochagua, y San Miguel de Ibarra; con el fin de complementar la validación de los resultados, en donde se tomó un registro fotográfico de las áreas inaccesibles de cobertura vegetal que fueron afectadas por incendios, las cuales fueron identificadas por varios pobladores de la zona. Además, se registraron puntos GPS en donde se tomaron las fotografías y se subieron al software ArcMap[®], para comparar con los lugares en donde se visualizaban los incendios en las imágenes satelitales RapidEye y PlanetScope, confirmando los incidentes ocurridos.

3.2.3 Establecimiento de propuesta de restauración de áreas incendiadas en el cantón Ibarra

Los resultados del objetivo dos mostraron que las áreas de cobertura vegetal se han recuperado, por este motivo se establecieron tres estrategias con justificación y objetivos a cumplir, con el fin de prevenir nuevos incendios en áreas de cobertura vegetal. Se incluyeron las alternativas viables para los pobladores que realizan actividades agrícolas que permitan controlar minimizar el combustible del fuego y su expiación.

3.2.3.1 Salidas de campo

Se realizó cinco salidas de campo, por lo que se acudió a los sitios más afectados según el análisis de las imágenes satelitales del cantón, para observar si aún quedaba vegetación que se propague naturalmente en el área. Según Fernández et al, (2010) para iniciar con un plan de restauración se debe tomar en cuenta factores como el suelo, topografía, fuentes hídricas, existencia de comunidades ecológicas, perturbaciones, clima y microclima, sin embargo, al concluir que las áreas afectadas por incendios se recuperaron, se optó por estrategias que tengan la finalidad de prevenir que las áreas de cobertura vegetal sean afectadas por nuevos incendios.

3.2.3.2 Análisis FODA

Se realizó un análisis que determinó las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que tiene el cantón Ibarra referente a las áreas de cobertura vegetal que fueran afectadas por incendios. Cervantes C. (2007), indica que el FODA es una herramienta útil al momento de potenciar los puntos fuertes y débiles de un proyecto para aprovechar de forma eficiente cada uno de ellos, y tomar acción sobre las debilidades y amenazas. Según la Fundación SISDEC (2013) el análisis FODA es más eficiente cuando se tiene un número reducido de factores en la investigación referente a los colaboradores, moradores de la zona, GADs municipales, entre otros.

3.2.3.3 Establecimiento de estrategias

Se elaboraron tres estrategias para las cuales se realizó un análisis de las posibilidades que existen en el cantón Ibarra para el establecimiento de los proyectos y se estructuraron en matrices de marco lógico según los resultados del objetivo 2 con cronogramas respectivos con un tiempo de dos a cinco años. Sanches (2007) destaca que la metodología del marco lógico es una herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos, ayuda al análisis creativo y permite presentar diferentes aspectos del

proyecto. La autora recomienda el uso del marco lógico por tener un diseño que satisface tres requerimientos fundamentales de calidad en un proyecto: coherencia, viabilidad y evaluabilidad.

3.3 Materiales y equipos

A continuación, se presenta la Tabla 4, la cual enlista y clasifica los equipos y materiales divididos en fase de campo y escritorio.

Tabla 4. Equipos, materiales y software a usar en la presente investigación

Materiales	Equipo	Software
Fase de campo		
Libreta de apuntes	GPS Gramin Map 64sx	-
Esferográfico	Cámara fotográfica	-
-	Vehículo	-
Fase de oficina		
Landsat 7	Laptop	ArcMap [®] 10.3
Landsat 8		
PlanetScope	-	Excel [®]
RapidEye	-	ENVI [®] 5.3
MODIS Terra	-	
Sentinel-2	-	-

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios entre los años 2010 y 2020

Como primer punto se realizó una depuración de los datos brindados por la Secretaría General de Gestión de Riesgos y Emergencias, en donde resultó que existen 14 incendios mayores a 50 hectáreas, como se visualiza en la Figura 2, en la cual se plasma la ubicación de los incendios a estudiar en el cantón Ibarra.

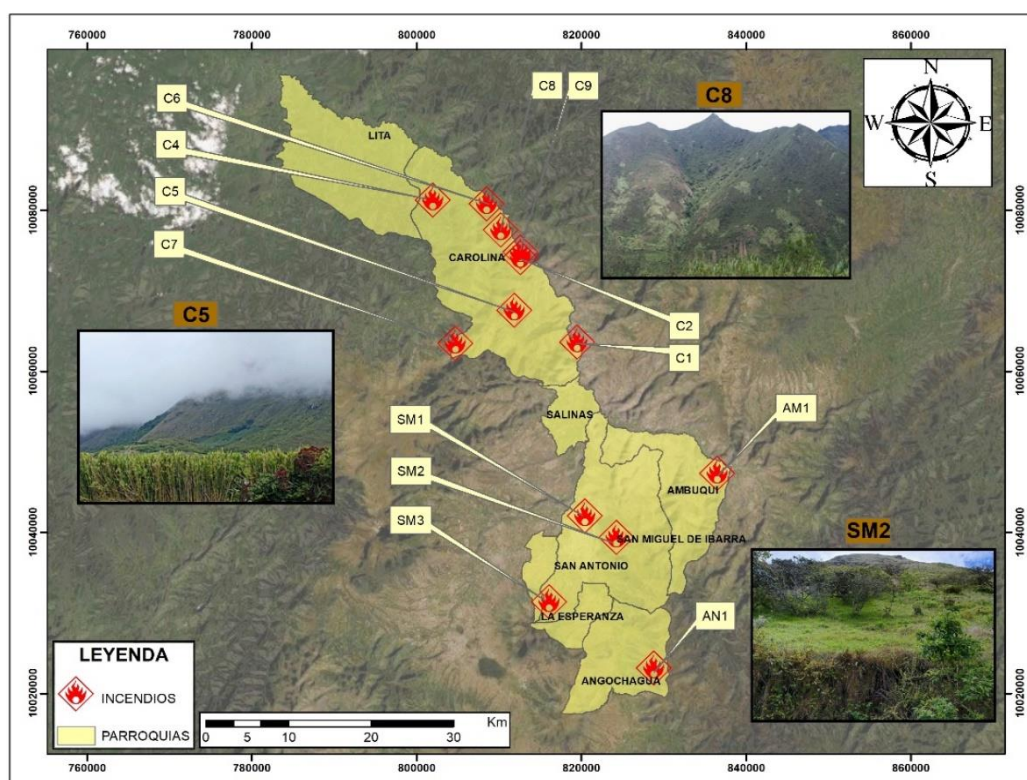


Figura 2. Incendios significativos registrados entre los años 2010 y 2020 en el cantón Ibarra.

4.1.1 Identificación y análisis de los incendios registrados en el cantón Ibarra en el período 2010-2020

A continuación, la Tabla 5 muestra una lista de los incendios estudiados, en donde se los enlistó en secuencia temporal, mostrando también su extensión, ubicación y codificación. Para un mejor entendimiento en los próximos resultados, cabe mencionar que la tabla fue realizada conforme a la información recopilada.

Tabla 5. Identificación de los incendios ocurridos en el año 2010 hasta el 2020, con extensiones mayores a 50 hectáreas

Fecha	Extensión (ha)	Ubicación		
		Parroquia	Sector	Codificación
22/09/2013	60.00	Sagrario	Miravalle	SM1
02/07/2014	69.00	Carolina	Cuambo	C1
28/07/2014	691.31	Carolina	Tercer Paso - Guadual	C2
17/08/2014	60.00	Carolina	El Guadual	C3
05/08/2015	95.00	Carolina	Guallupe vía a Urbina	C4
13/09/2015	100.00	Carolina	Imbiola	C5
24/03/2016	65.00	Ambuquí	Peñaherrera	AM1
08/08/2016	55.08	La Dolorosa Del Priorato	Yahuarcocha	SM2
06/11/2016	112.46	Caranqui	Catzoloma- Cerro Imbabura	SM3
13/07/2017	725.43	Angochagua	Páramo de la Hacienda Zuleta	AN1
07/09/2017	66.30	Carolina	San Jerónimo	C6
20/08/2018	106.65	Carolina	Páramos de Imbiola	C7
15/09/2019	79.42	Carolina	San Jerónimo	C8
12/08/2020	83.52	Carolina	San Jerónimo	C9

Nota: Esta codificación se utiliza para identificar los incendios respectivos en todo el documento.

Los cuatro incendios de mayor extensión en el periodo de tiempo establecido tienen: 106, 112, 691 y 725 hectáreas, en los páramos de Imbiola, Catzoloma hasta el Cerro Imbabura, Tercer Paso hasta Guadual y en el Páramo de la hacienda de Zuleta, respectivamente. Según el presidente del Comité de

Operaciones de Emergencia (COE) mediante los medios de comunicación como es el telégrafo (2014), los incendios de San Jerónimo afectaron directamente al páramo; el incendio producido en Tercer paso y Guadual afectó a la transición del bosque andino-tropical, su cobertura vegetal nativa fue reemplazada por pastos, arbustos y pinos. El incendio afectó a las comunidades existentes en la zona, específicamente a 73 personas quienes fueron evacuadas.

Arango y Chingal (2019) mencionan que la pendiente es un factor importante a la hora de propagarse los incendios, consecuentemente el incendio producido en el páramo de la hacienda Zuleta de 725 ha, tuvo mayor facilidad de expansión, ya que en la zona existen pendientes mayores a 25% con alta y extrema susceptibilidad a incendios. El boletín de prensa a cargo del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y emergencia (2017), comunica que según la gobernadora de la provincia de Imbabura, Paulina Vercootere, mencionó que un incendio forestal se propagó desde Mariano Acosta afectando 234 ha y 491 ha en la parroquia Angochagua, mismo que únicamente tuvo impactos ambientales negativos al páramo, que es un ecosistema frágil y sumamente importante, además se informa que 441 ha pertenece al bosque protector de Zuleta, el cual tiene alta biodiversidad y especies nativas emblemáticas del país. Julio Moran, coordinador del MAE, explicó los valores ecosistémicos perdidos tras el incendio y la importancia de ellos, tanto como la producción de agua como la captación de carbono.

4.1.2 Análisis del estado de la cobertura vegetal en las áreas afectadas por incendios

A continuación, la Figura 3 presenta los resultados obtenidos de la plataforma web *Earth map*. La parroquia La Carolina representada por la Figura 3a, registró un total de diez incendios con una extensión mayor de 50 ha con bajos niveles de humedad. La vegetación de la parroquia, según Arango (2019), presenta una moderada y alta susceptibilidad a incendios basándose en la altitud de estas zonas de la parroquia que son de 650 a 2173 m.s.n.m. Otro factor importante son

las pendientes, las cuales presentan una susceptibilidad alta y extrema a incendios debido a que sus pendientes son mayores de 25 %.

En la cobertura vegetal de la parroquia Ambuquí, en su mayoría, predomina el matorral, el cual es un tipo de vegetación con niveles menores de humedad, además tiene áreas erosionadas por las actividades antrópicas de la zona, siendo altamente susceptible a incendios. En la Figura 3b se puede observar los bajos niveles de humedad, siendo Ambuquí, una parroquia la cual se registró un incendio que consumió 65 ha. Las malas prácticas agrícolas tienen una importancia significativa en cuanto a la susceptibilidad a incendios que tiene la parroquia, ya que se realizan cultivos en pendientes de hasta el 70% (Benalcázar, 2017).

Las zonas con píxeles de color amarillo oscuro, como se observa en la Figura 3c, son aquellas que no tienen vegetación, ya que se encuentran urbanizadas, sin embargo, alrededor de dichas zonas, se puede observar píxeles de color amarillo claro y blanco, los cuales representan vegetación con bajos niveles de humedad. Según Arango et al. (2020), la parroquia San Miguel de Ibarra, tiene alrededor del 14% de susceptibilidad muy alta y un 40% de susceptibilidad extrema a sufrir incendios, ya que su cobertura vegetal se encuentra ocupada por cultivos y páramos en un 59%. Al producirse un incendio en áreas de cultivo, el fuego puede extenderse hasta zonas de páramos influenciado por la pendiente.

El NDVI de la parroquia Angochagua en la Figura 3d, indica los bajos nivel de humedad que tiene la vegetación en la zona en donde se registró el incendio, a pesar de estar conformado por páramos, lo cual indica que la parroquia atravesó por un período de sequía. Jaramillo et al. (2018) menciona que, el 28.93% del territorio de la parroquia, está conformado por pendientes mayores al 45% de relieve escarpado, que resulta en baja capacidad de recarga hídrica de la zona y mayor facilidad de extensión del fuego, provocando que tenga una extrema susceptibilidad a incendios. La vegetación arbustiva es otro factor que promueve la propagación

del fuego junto con el manejo poco adecuado de las tierras, y la mala planificación del territorio.

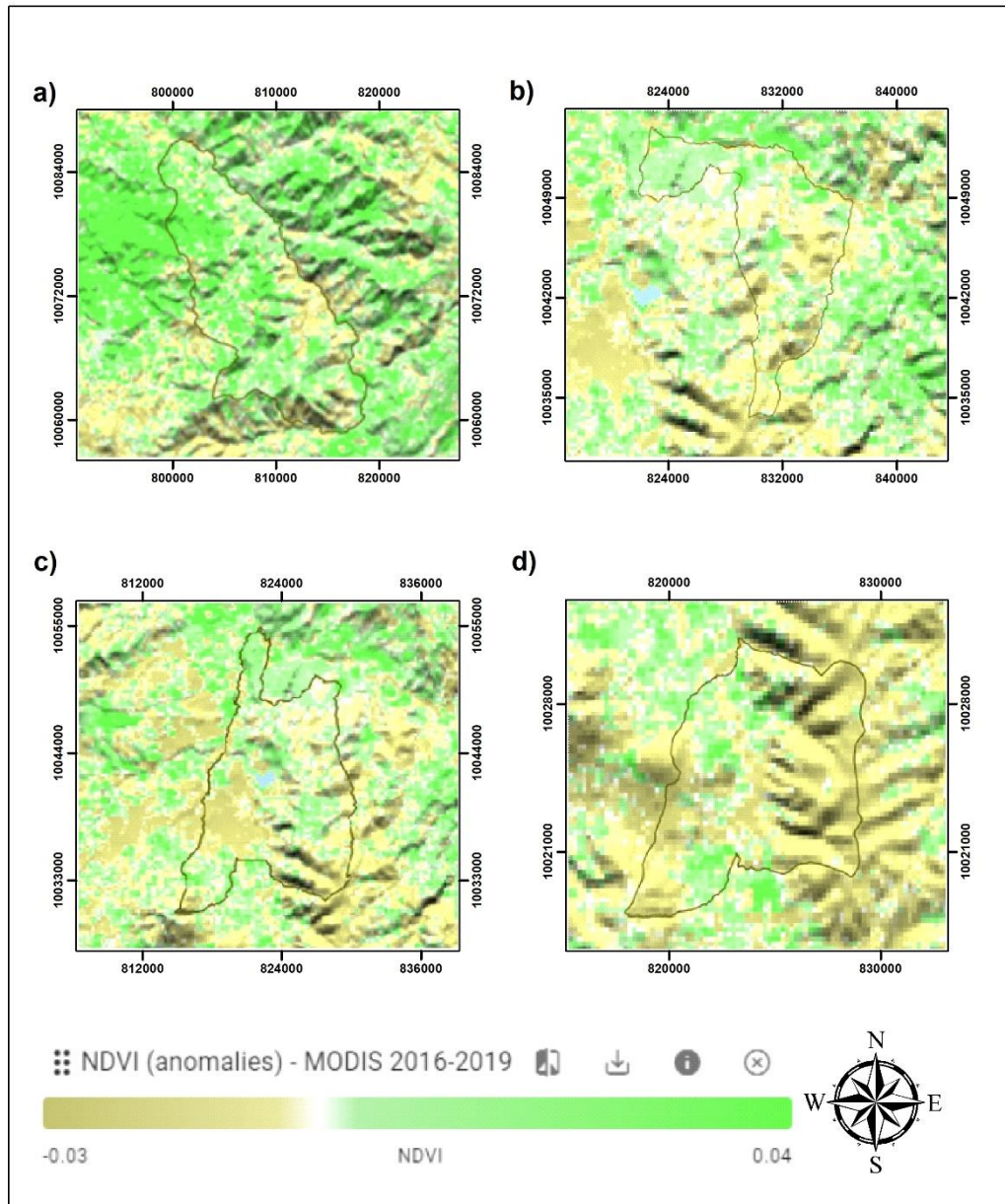


Figura 3. NDVI de las parroquias en donde se registran los incendios a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2011, EarthMap (earthmap.org)

La Figura 4 muestra histogramas mensuales del periodo de estudio, al analizar la parroquia La Carolina en la Figura 4a, en enero del 2017 se observa el NDVI más alto, indicando un dosel de vegetación densa y saludable con buen nivel de humedad y según la información recolectada no se registran incendios significativos en la fecha. En febrero del 2016, se presenta el menor NDVI, se registra un incendio de 22 hectáreas en el sector llamado El Corazón del Guadual y otro de dos hectáreas en el sector Peña Negra, siendo el matorral el tipo de vegetación afectada. En la Figura 4b, se observa el NDVI más alto en noviembre del 2020, en el cual no se registran incendios. El NDVI más bajo correspondiente al mes de febrero del 2016; no se registran incendios. En la parroquia Ambuquí se registra el incendio AM1, con un NDVI bajo.

El NDVI más alto en el mes de mayo del 2011 como indica la Figura 4c, en el cual no se registran incendios ya que presenta vegetación parcialmente saludable. El menor NDVI correspondiente al mes de febrero del 2016, en donde se registran dos incendios en la parroquia urbana La Dolorosa del Priorato, el primero de cinco hectáreas en el sector Panamericana Norte y segundo de tres ha en el sector de Yahuarcocha. En la parroquia San Miguel de Ibarra se registraron tres incendios significativos, siendo SM1; SM2, afectando a vegetación de tipo matorral; y el tercer incendio fue SM3, que fue el incendio más grande ubicado en la parroquia con un NDVI de 0.46, afectando a la cobertura vegetal ocupada por páramo. Cabe recalcar que según el NDVI calculado de las fechas en las que ocurrieron los incendios significativos de la parroquia San Miguel de Ibarra, demuestra que la vegetación se encontraba poco saludable.

El mes de mayo del 2010 presenta el NDVI más alto, como se observa en la Figura 4d, indicando un dosel de vegetación densa y saludable, al contrario del NDVI del mes de febrero del 2016, que registró un incendio de tres ha del sector La Magdalena. Cabe recalcar que en Angochagua, se registró el incendio más grande del cantón Ibarra, que fue el incendio AN1 por haber tenido un NDVI que indica una vegetación parcialmente saludable.

Un estudio realizado por Cruz et al. (2020), determina la importancia del uso del NDVI para describir las diferencias temporales y espaciales, según la cobertura vegetal o el tipo de vegetación existente en el territorio, en donde obtuvieron histogramas en series mensuales del periodo de estudio, indicando que se debe buscar imágenes *Landsat 8* con no mayor a 20% de nubosidad, para seguidamente realizar una reproyección en *Global Mapper* y un preprocesamiento en el programa ENVI[®] 5.1. Una vez corregidas las imágenes, procedieron al cálculo del NDVI, con la finalidad de obtener cifras más exactas se realizó una comparación entre el resultado de las imágenes *Landsat* previamente corregidas, las imágenes sin corregir, un mosaico nacional obtenido para el estudio y finalmente, el producto obtenido en la plataforma *Climate Engine Proba-V*, en donde se obtuvo que las imágenes *landsat* sin correcciones previas, muestran un NDVI mucho más alto que los otros métodos, por ello es recomendado utilizar plataformas como *Climate Engine*. En el presente trabajo se utilizó únicamente la plataforma EarthMap.

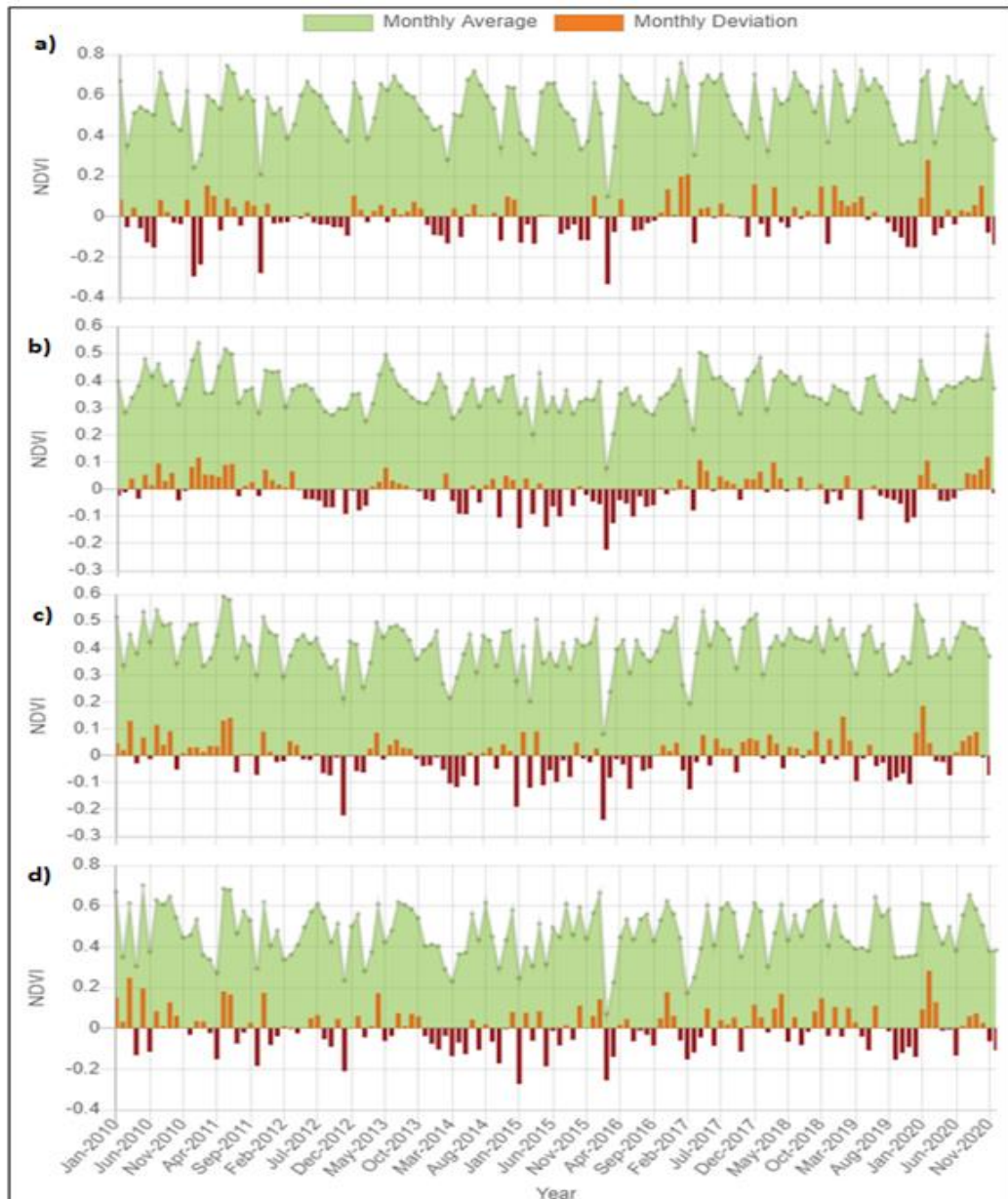


Figura 4. NDVI en el periodo 2010-2020: a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua en series mensuales

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2011, EarthMap (earthmap.org)

4.1.3 Clasificación de las áreas de cobertura vegetal afectadas pre-incendio

Al analizar la Figura 5, se muestra que el NDVI de las diferentes parroquias antes de los incendios significativos registrados en el periodo 2010 - 2020, en donde se puede observar que la Figura 5a tiene en su mayoría valores altos, lo que significa que tiene cobertura vegetal sana, abundante y altos niveles de humedad, sin embargo, la Carolina es la parroquia con más incendios forestales presentados durante el periodo de estudio, pero es importante saber que para conocer la susceptibilidad a incendios existen diferentes factores, como: pendiente, precipitación y altitud, entre otros.

En la parroquia Ambuquí el NDVI indica que contiene cobertura vegetal con bajos niveles de humedad, como se observa en la Figura 5b, la mayoría de su territorio es ocupado por colores rojizos que evidencian vegetación dispersa y poco saludable, a diferencia de la Figura 5c perteneciente a la parroquia San Miguel de Ibarra que, en su mayoría es ocupada por vegetación medianamente sana o poco abundante. Finalmente, la parroquia Angochagua presenta en su área altos niveles de humedad como se aprecia en la Figura 5d.

Un estudio realizado en la provincia de Chimborazo por Chamorro y Erazo (2010), calcularon el NDVI, CWSI y SAVI de las plantaciones de Tuna existentes en el cantón, indicando la importancia de utilizar imágenes con buena resolución, como son las *Sentinel 2A*, ya que estas tienen una resolución de 10m, incluso menciona que es mejor buscar imágenes con, resolución menor a 10m, para obtener datos más exactos, sin embargo, en el presente estudio se utilizó imágenes *Landsat* que son de 30m, debido a que no existían imágenes *Sentinel 2A* para las fechas requeridas, además de que las imágenes de los incendios recientes contienen abundante nubosidad. Finalmente indican que el NDVI muchas veces no tiene gran precisión, por lo tanto, es importante el uso de más índices para acompañar los datos obtenidos, como por ejemplo el índice de vegetación SAVI, el cual disminuye las alteraciones de los valores del NDVI. En la Figura 6 se encuentra la clasificación de la cobertura vegetal según los valores del NDVI

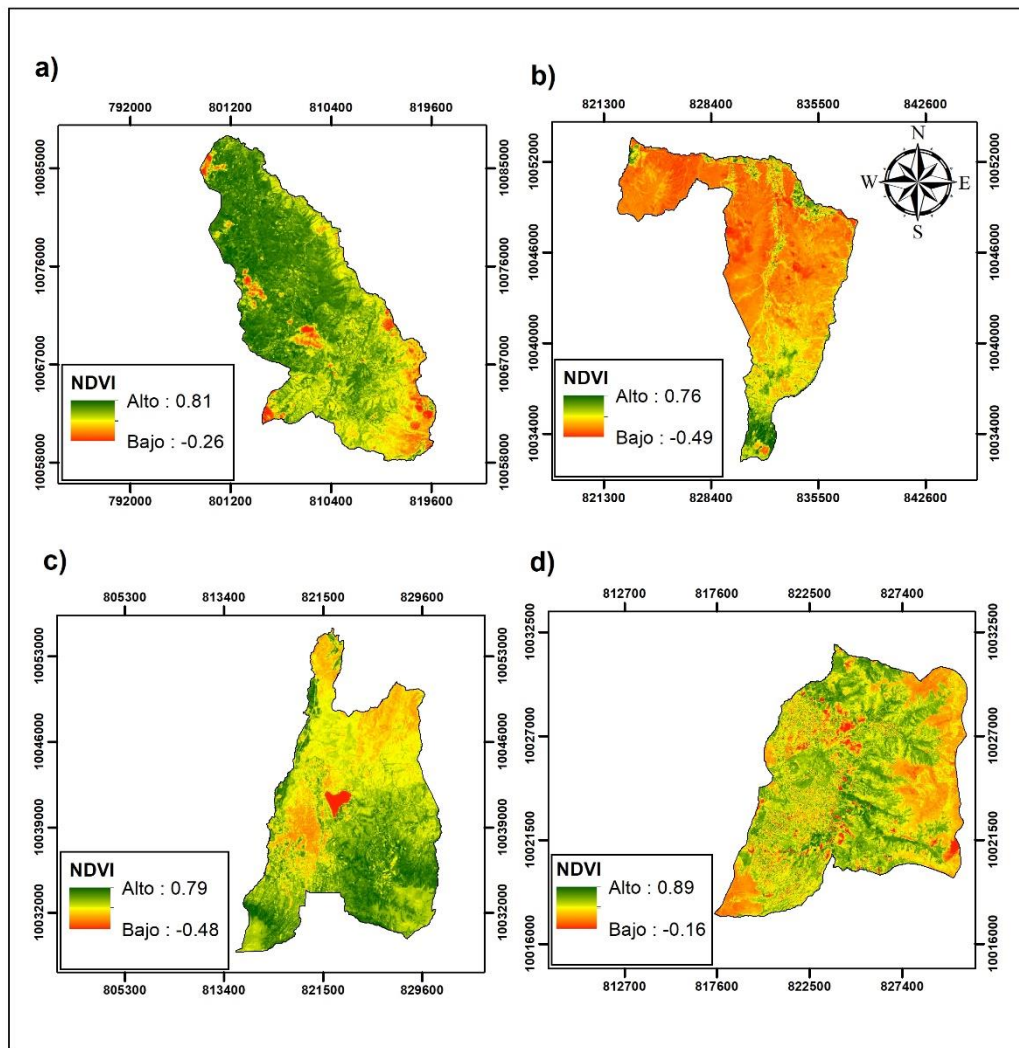


Figura 5. NDVI de las parroquias; a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua

La parroquia La Carolina plasmada en la Figura 6a, presenta áreas verdes, las cuales son ocupadas por 23 171 ha de vegetación densa o vigorosa, como se puede observar en la Tabla 6, es importante destacar que la imagen tenía muy poca nubosidad, sin embargo, al realizar la clasificación de la cobertura vegetal, los espacios cubiertos por nubes pasaron a formar parte de la clasificación suelo desnudo, agua, roca o nieve, lo que daría un error al momento de tener la sumatoria total de hectáreas por cobertura vegetal, ya que se desconoce qué tipo de vegetación es la que oculta la espesa nubosidad de la zona, pero se puede deducir que pertenece

a la clasificación de la vegetación densa y vigorosa, debido a que la zona predomina este tipo de vegetación.

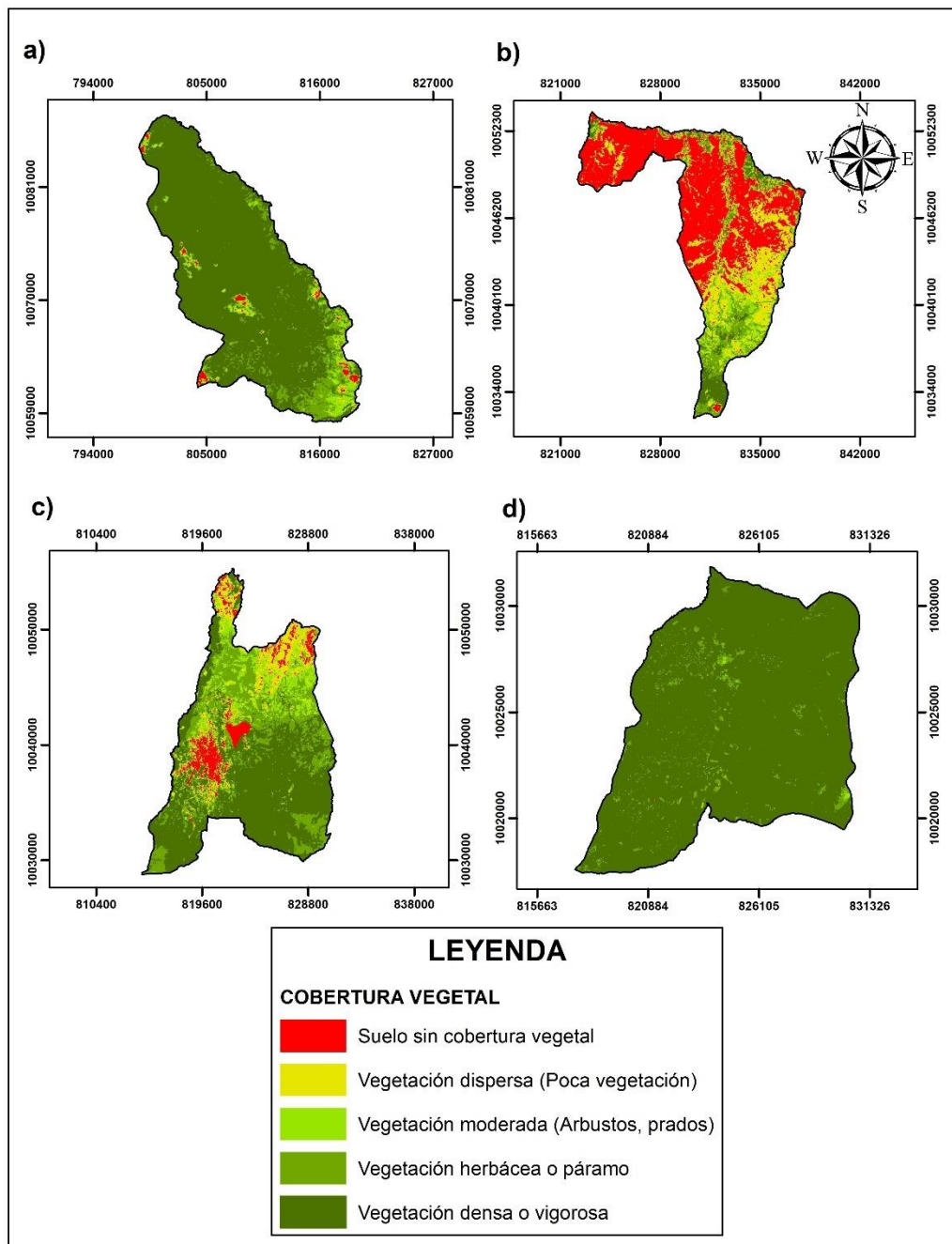


Figura 6. Clasificación de la cobertura vegetal basada en los valores del NDVI de la parroquia: a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua

Ambuquí es una parroquia que está compuesta mayormente por suelo desnudo y seguidamente de vegetación herbácea o paramo como se observa en la

Figura 6b, sin embargo, en Ambuquí no existe páramo, por lo que las 1392 ha pertenecen únicamente a vegetación herbácea. En la Figura 6c, se observa la parroquia San Miguel de Ibarra, se puede ver que su territorio está compuesto mayormente por vegetación herbácea o páramo, y vegetación densa o vigorosa, se puede observar en la Tabla 6. Finalmente, en la Figura 6d, perteneciente a la parroquia Angochagua se observa que la cobertura vegetal está compuesta casi en su totalidad por Vegetación densa o vigorosa. En la Figura 7 se visualiza la cobertura vegetal de las parroquias, que se obtuvo a través de un *shapefile* del 2019, en ella se observa el cambio multitemporal que han tenido las parroquias a lo largo de los años.

Tabla 6. Resumen de la extensión de la cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Área (ha)			
	a	b	c	d
Suelo sin cobertura vegetal	456.43	2895.89	1663.18	0.65
Vegetación dispersa (Poca vegetación)	753.12	6635.37	2485.45	1.06
Vegetación moderada (Arbustos, prados)	1094.97	1093.37	3005.85	28.05
Vegetación herbácea o páramo (Húmedo)	5796.23	1392.81	8362.86	432.92
Vegetación densa o vigorosa (Alta humedad)	23 171.80	792.36	8645.55	11 530.49
Total	31 272.55	12 809.8	24162.89	11 993.17

En la cuenca del río Tahuando, Rosero (2017) realizó un estudio sobre el análisis multitemporal de la cobertura vegetal, utiliza una metodología similar con diferentes satélites, como es Landsat 5 TM, Aster del satélite LIT y un mosaico de ortofotos del programa SIGTIERRAS, con la finalidad de tener imágenes satelitales sin nubosidad de todos sus periodos de estudio, sin embargo, en el presente estudio se utilizó imágenes Landsat 7 y 8, ya que existen imágenes con poca nubosidad y de los diferentes periodos de tiempo del área de estudio. El autor recomienda realizar una clasificación supervisada, para respaldar el resultado obtenido con las imágenes satelitales, ya que tiene un nivel mayor de confiabilidad, pero se debe tomar en cuenta la disponibilidad de tiempo, equipo técnico, y materiales para las salidas a campo, además la accesibilidad y extensión del área de estudio; en la presente investigación se realizó un mapa en donde se clasifica la cobertura vegetal según el NDVI para la validación de resultados.

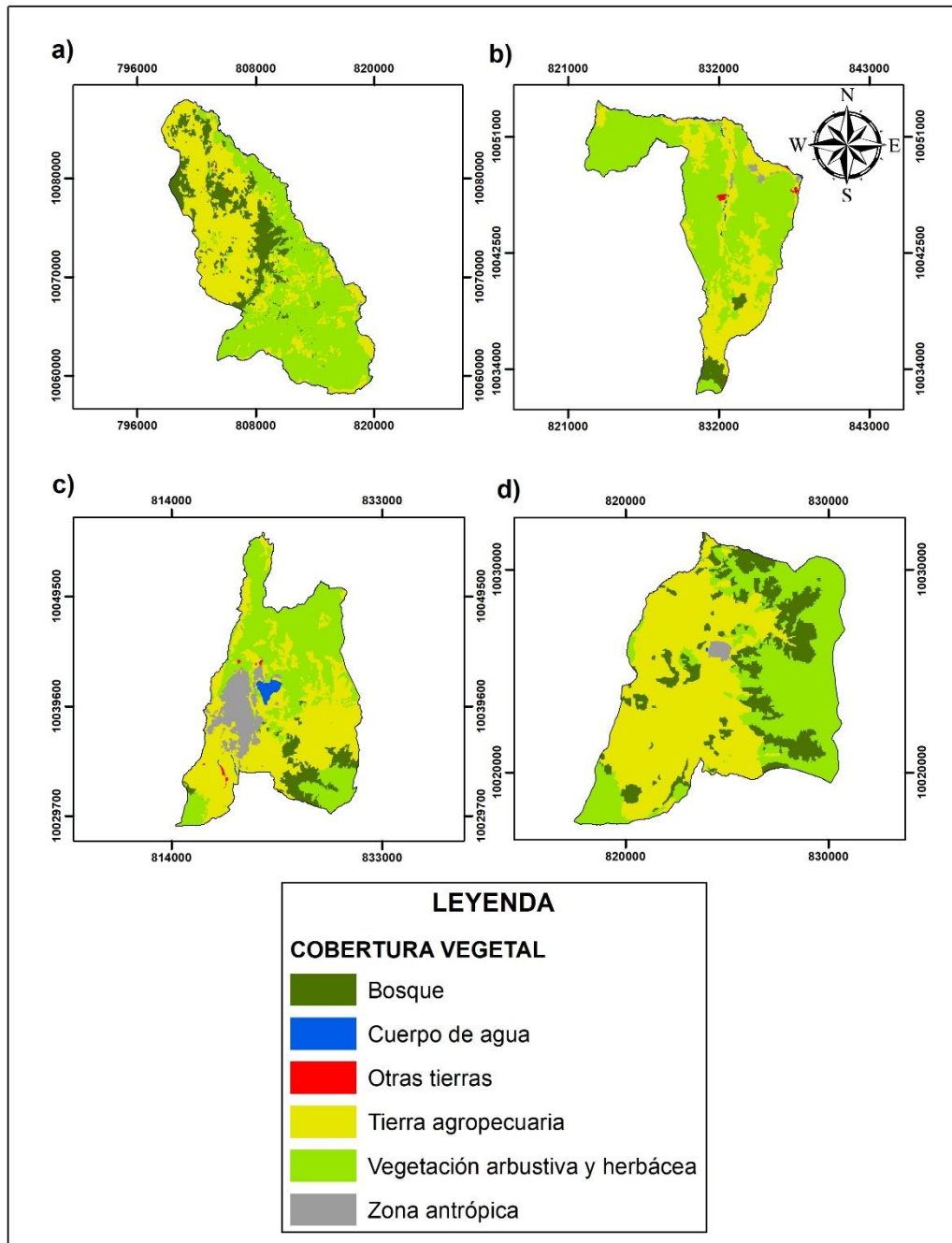


Figura 7. Cobertura vegetal de las parroquias; a) La Carolina, b) Ambuquí, c) San Miguel de Ibarra d) Angochagua

4.2. Análisis de la cobertura vegetal post-incendio en las áreas afectadas

Los incendios ocurridos en la parroquia de La Carolina se muestran en la Figura 8, como es el caso del literal 8a, el cual abarca los incendios C1 y C2 debido a que fueron continuos y en zonas aledañas, el incendio C3 no fue encontrado por un error en las coordenadas proporcionadas. También se puede visualizar la recuperación que tuvo la cobertura vegetal del sector del incendio C4, que según la información brindada por la secretaria de gestión de riesgos fue de 95 ha, sin embargo, al sumar la extensión de la totalidad de los incendios ocurridos en la zona, se obtuvo un total de 4642.41 ha afectadas, en donde también se abarcaron incendios no significativos en la zona, ya que se encontraban muy cerca del incendio principal, en donde la mayor afectación se ve en los matorrales que son un combustible, que facilita la propagación del fuego (Opazo et al, 2007). Finalmente, en el incendio C5 se puede observar que la vegetación en la imagen post-incendio se recuperó al grado de tener una cobertura vegetal densa con altos niveles de humedad que abarca mayor extensión que la imagen satelital pre-incendio.

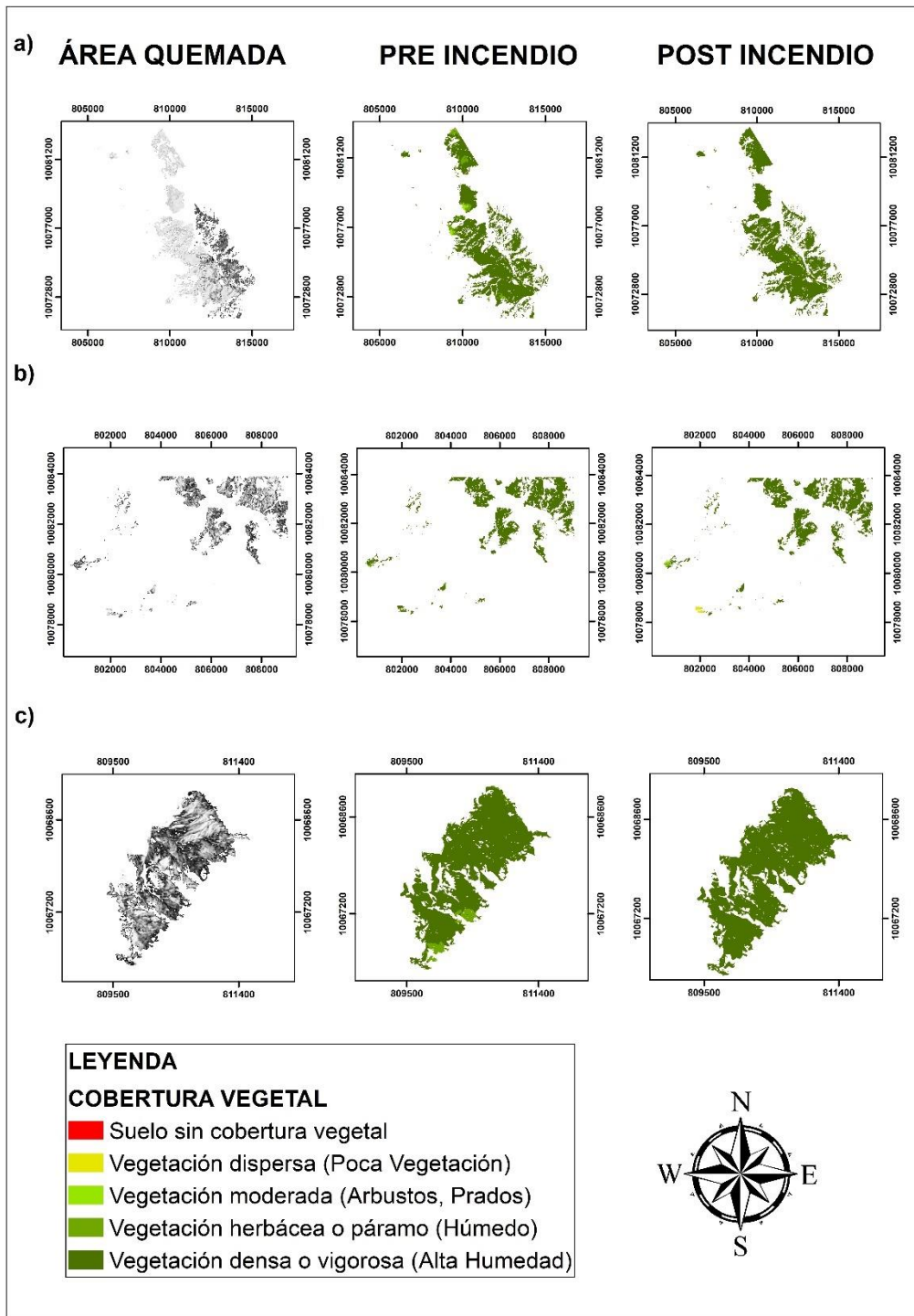


Figura 8. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia La Carolina, codificación respectiva: a) C1, b) C2, c) C3, d) C4, e) C5

La Figura 9, en el literal 9a se muestra el incendio C6 que indica mejoría en su cobertura vegetal, porque en la imagen post-incendios predomina la vegetación densa o vigorosa mientras que en la imagen pre-incendio, la vegetación herbácea ocupaba la mayor parte del área afectada. El literal 9b correspondiente al incendio C7, se observa que la vegetación de la zona se recuperó en su totalidad, debido a que en la imagen pre-incendio ya tenía altos niveles de humedad, el literal 9c muestra el incendio C8 que tiene una notable mejoría de la cobertura vegetal,

cambiando su cobertura vegetal húmeda, por vegetación densa o vigorosa con altos niveles de humedad.

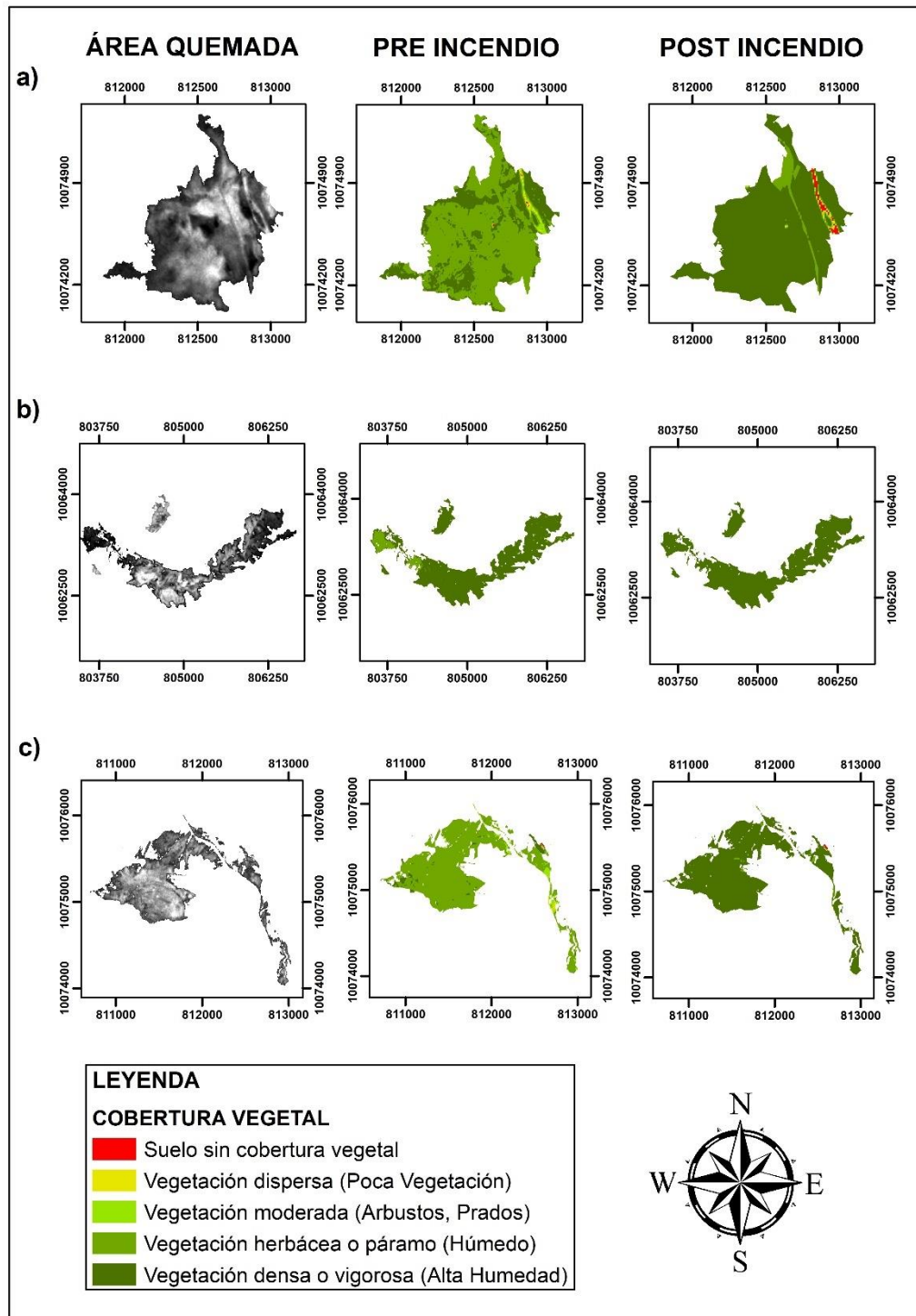


Figura 9. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia La Carolina, codificación respectiva: a) C6, b) C7, c) C8

Finalizando con los incendios de la parroquia La Carolina se tiene el incendio C10, visualizado en la Figura 10, en donde se muestra una mejoría en su cobertura vegetal, ya que se puede observar que en la imagen post-incendio ya no existe vegetación dispersa, al contrario, la mayoría del área afectada tiene vegetación densa o si vigorosa, sin embargo, también tiene más vegetación herbácea que en la imagen pre-incendio.

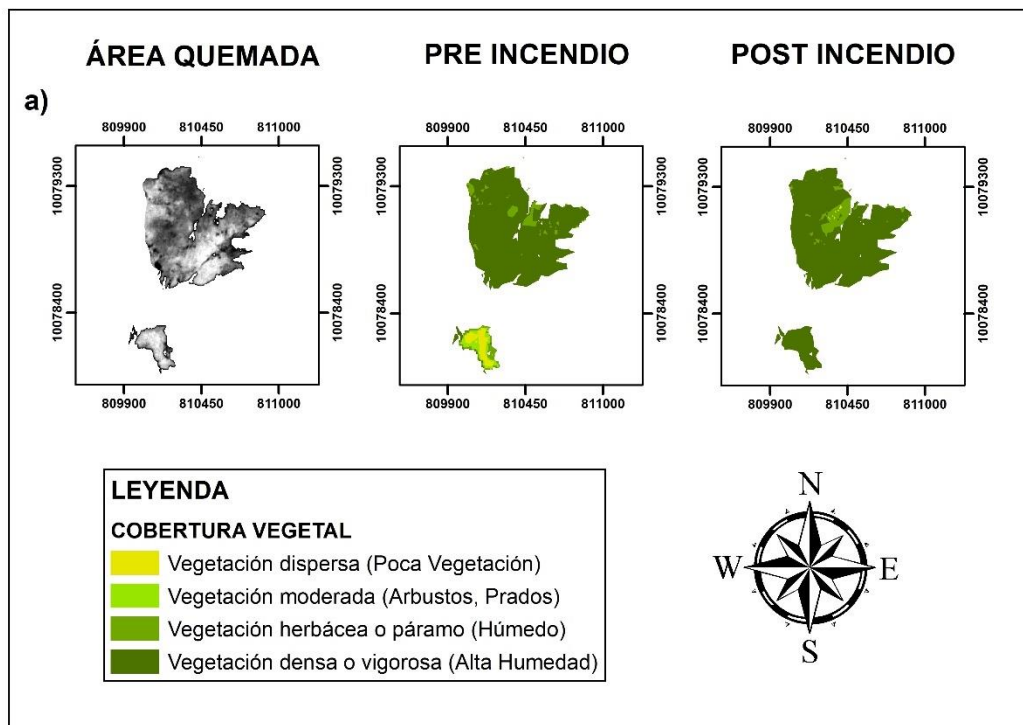


Figura 10. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia La Carolina, codificación respectiva: a) C9

A continuación, se muestra la Tabla 7, en donde se observa el área afectada de cada incendio ocurrido en la parroquia de La Carolina, los cuales muestran variaciones con la información de la secretaria de Gestión de Riesgos, lo cual se debe a que existieron diferentes incendios menores a 50 ha en las zonas aledañas a los incendios representativos.

Tabla 7. Extensión en hectáreas de los incendios ocurridos en La Carolina

Incendio	Área (ha)
C1, C2	1743.31
C4	476.4
C5	189.08
C6	67.45
C7	123.36
C8	84.1
C9	50.75

Quistial, (2016) realizó un estudio en la parroquia La Carolina, detalló que los incendios ocurridos afectaron a la cobertura vegetal de pastos secos y vegetación arbustiva debido a su bajo contenido de humedad, provocando la expiación del fuego que afectó a las áreas de cobertura vegetal que se encontraron al alcance, además se estudió las posibles causas de los incendios forestales en La Carolina, en donde se concluyó que fueron causados por la negligencia de agricultores sobre las malas prácticas ambientales, quema de rastrojo, quema agrícola, entre otras; por ello la autora recomienda la educación ambiental hacia los pobladores, especialmente agricultores, como principal herramienta para la prevención de nuevos incendios que destruyan la biodiversidad y salvaguardar los recursos naturales a largo plazo.

Morante et al. (2022) realizó un estudio en la parroquia La Carolina con la finalidad de evaluar los incendios forestales usando sensores remotos con imágenes Landsat-8 en el sensor OLI-TIRS, donde determinó la recuperación post-incendio de la vegetación de toda la parroquia, resultados que respaldan los datos obtenidos respecto a la recuperación de la cobertura vegetal de las áreas afectadas por incendios en la presente investigación a pesar de ser resultados de áreas específicas donde es posible aplicar el índice BAI, además los autores miden la severidad de los incendios con imágenes Landsat las cuales cuentan con el espectro de bandas necesarias para aplicar el índice NBR.

En la Figura 11, se visualizan los incendios ocurridos en San Miguel de Ibarra, el incendio SM1 no fue encontrado por errores en los datos al momento de registrar el evento indicando que la información obtenida por gestión de riesgos tiene un error en cuanto a la fecha o la ubicación. El incendio SM2 evidencia una recuperación satisfactoria en la imagen post-incendio del año 2020, alcanzando valores de humedad correspondientes a una vegetación densa o vigorosa. La zona destaca la presencia de matorrales y vegetación xerofítica en con clima Ecuatorial Mesotérmico, Semi-húmedo a Húmedo según la clasificación de Pourrut (Jácome, 2015). Anrango y Chingal (2019) afirman que en la zona en donde ocurrió el incendio SM3, tiene una alta y moderada susceptibilidad a incendios considerando su precipitación y temperatura anual. Finalmente, en el incendio SM3, se muestra el gran cambio en la vegetación, antes y después ser afectada, lo cual indica que se recupera por pequeñas áreas, principalmente se observa que ya no existen zonas con vegetación dispersa.

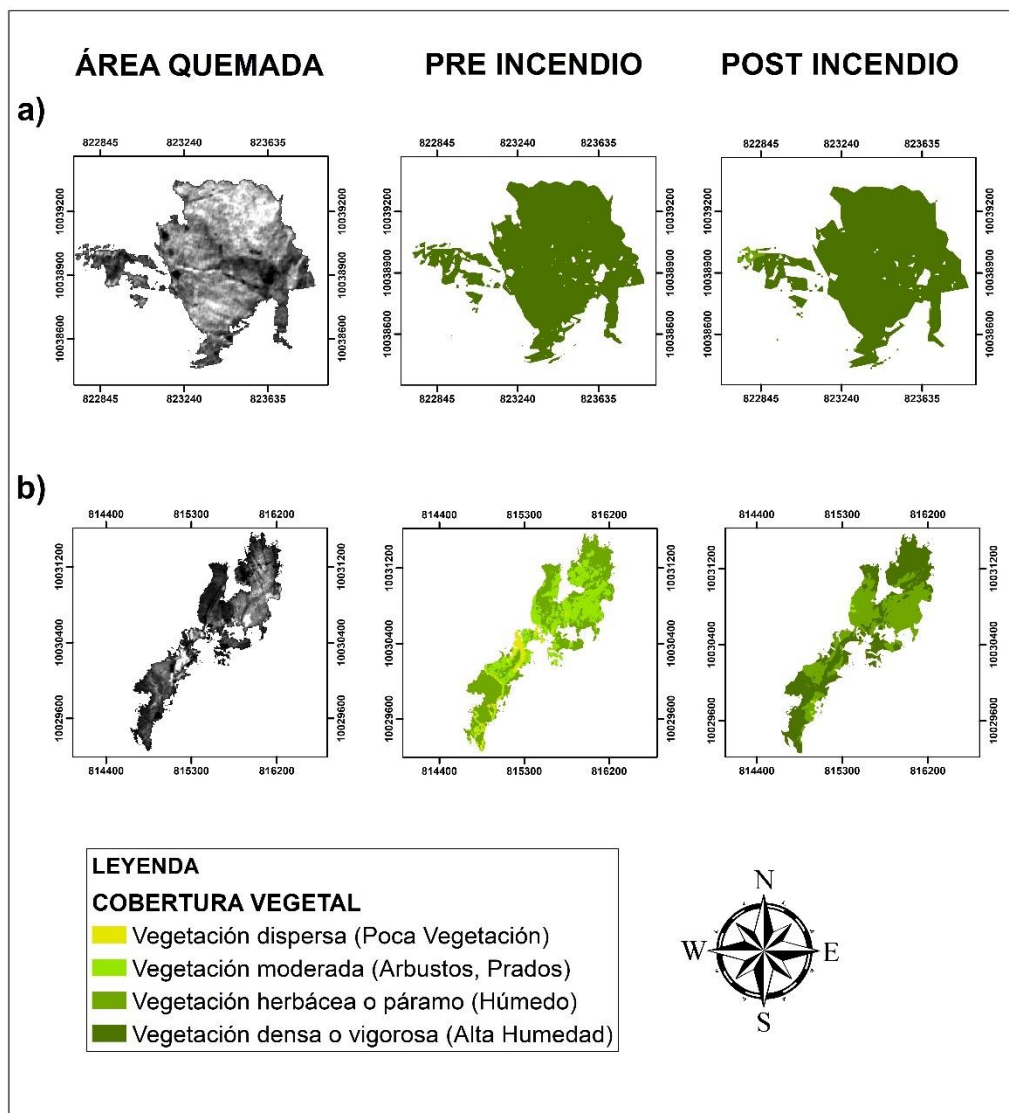


Figura 11. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la parroquia San Miguel De Ibarra, codificación respectiva: a) SM2, b) SM3

A continuación, se presenta la Tabla 8 que indica el resultado obtenido del BAI, que muestra la extensión de los dos incendios ocurridos en la parroquia San Miguel de Ibarra, es impórtate mencionar que las extensiones no coinciden con la información brindada por la secretaria de gestión de riesgos.

Tabla 8. Extensión en hectáreas de los incendios forestales ocurridos en San Miguel de Ibarra

Incendios	Área (ha)
SM2	43.61
SM3	93.29

La parroquia San Miguel de Ibarra según Lasso y Córdova, (2009) se encuentra ocupada mayormente por zonas agrícolas, erosionadas y pecuarias, además señalan que el 70% de los suelos de la parroquia son aptos para plantaciones forestales, lo cual hacen que San Miguel de Ibarra sea más propenso a sufrir incendios en su cobertura vegetal, ya que muchas veces las áreas de bosques naturales son remplazadas por plantaciones forestales. En un estudio realizado por Vargas, (2017) menciona que el cambio de uso de suelo por la urbanización y expansión de la frontera agrícola potencia el cambio climático, por ende, mayores periodos de sequía y mayor susceptibilidad a incendios, con esta información se puede aclarar que San Miguel de Ibarra es una parroquia en crecimiento demográfico, por lo tanto, será más vulnerable a incendios. Finalmente, la recuperación del área afectada depende mucho de la topografía, vegetación y el tamaño del incendio forestal.

El cambio de la cobertura vegetal tras el incendio AN1 se muestra en la Figura 12, donde la mayoría del territorio es ocupado por vegetación herbácea y páramo en la imagen post incendio debido a que tienen valores de humedad entre 0.21 y 0.4 en la escala del NDVI, en comparación de la imagen pre- incendio que muestra vegetación saludable en la que predomina la vegetación densa y vigorosa, cabe destacar que, según los pobladores de la zona, una parte de la cobertura vegetal del páramo fue sustituida por *Eucalyptus globulus*, haciendo que el ecosistema se vea afectado por una especie introducida, debido a que esta no ayuda a retener la humedad del suelo. En la Tabla 9, se visualiza la extensión obtenida de incendio AN1.

Tabla 9. Extensión en hectáreas del incendio forestal ocurrido en Angochagua

Incendios	Área (ha)
AN1	807.39

El incendio ocurrido en el páramo de Zuleta fue de gran extensión, es por ello que es necesario tomar medidas para evitar incendios forestales en páramos, además de realizar planes de reforestación bien estructurados en la zona, como es el caso de un estudio realizado por Gualan y Orbe, (2019), en donde realiza un plan de reforestación en zonas aledañas al incendio producido en el páramo de la hacienda Zuleta, los autores mencionan la importancia de usar especies nativas y endémicas de la zona como: *Monochaetum myrtoideum*, *Dilplostegium lavandulaefolium*, *Chusquea scandens*, *Macleania rupestris*, *Chusquea sp*, *Paepalanthus dendroides*, entre otras. Finalmente mencionan la necesidad de la educación ambiental dentro de las comunidades aledañas y la necesidad de conocer el cómo evacuar, evitar y controlar un incendio, debido a que estas zonas tienen alta susceptibilidad a incendios forestales.

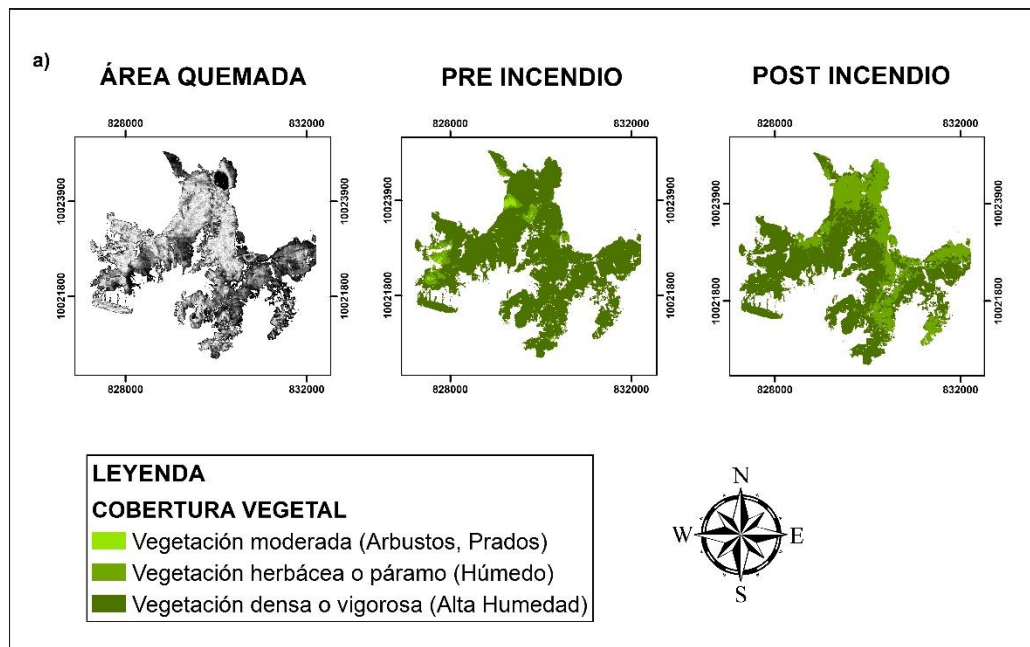


Figura 12. Análisis multitemporal de las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios de la de la parroquia Angochagua, codificación respectiva: AN1

4.2.1 Validación de resultados

4.2.1.1 Coeficiente Kappa

A continuación, se muestra la validación de resultados de siete incendios de áreas de cobertura vegetal en la Tabla 10. El valor más bajo de similitud es del incendio C5, que muestra una pobre concordancia, mientras que el resto indican una moderada concordancia, debido que son mayores a 0.6. Un estudio realizado por Arenas, et al (2011) indica que los valores del coeficiente Kappa mayores al 60% son considerados satisfactorios. También es importante mencionar que la cobertura vegetal es muy cámbiate después de un incendio forestal, ya que muchas veces son incendios ocasionados con el fin de expandir la frontera agrícola, en un estudio realizado por Quistial, (2016) indico que la mayoría de los incendios producidos en la Carolina son producto de malas prácticas agrícolas.

Tabla 10. Validación de datos de siete incendios del periodo de tiempo de estudio

Incendio forestal	Coeficiente Kappa	Precisión general (OA)
C4	0.71	80.00%
C5	0.39	71.43%
SM2	0.74	86.67%
SM3	0.68	80.00%
C6	0.78	83.33%
C8	0.76	82.61%
C10	0.65	77.78%







4.2.1.2 Validación en campo

En las diferentes salidas de campo se visitó las áreas cobertura vegetal afectadas: C1, C2, C3, C5, C6, C7, C8, C10, SM2, AN1, las cuales resultaron ser inaccesibles, por lo que no se pudo llegar a la zona exacta del incidente, sin embargo, los moradores de las diferentes áreas en donde sucedieron los incendios, indicaron que efectivamente sucedieron en las respectivas fechas, además de que

varios incendios como: C5, C8, C10 y SM2, se puede observar la cobertura vegetal recuperada desde cierta distancia en la Tabla 11.

Según Opazo et al, (2007), para establecer y analizar un umbral entre zonas quemadas y no quemadas es importante tener información sobre el área afectada, no obstante, muchas veces no siempre coincide las coordenadas encontradas en la teoría, en comparación con las imágenes satelitales, ya que estas pueden variar por diversas razones como son: el tiempo de quema en relación con el tiempo de captura de la imagen, humedad del terreno, época del año, y el ecosistema afectado; es por ello que el estudio recomienda utilizar índices espectrales que sean adaptados a la señal del carbón, como es el BAI, esto para una mejor visualización y entendimiento, no obstante existen varios índices que son utilizados para estudios de áreas quemadas, como es el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR).

Tabla 11. Registro fotográfico de las salidas de campo de los incendios SM2, C5, C8 y C10

Yahuarcocha (SM2) 0823559; 10039464	Imbiola (C5) 0812078; 10067870
	
San Jerónimo (C6) 808487; 10080816	San Jerónimo (C9) 812584; 10074830
	
Cuambo, Tercer paso-Guadual (C1, C2) 0808209; 10082209	
	

4.3 Establecimiento de estrategias de prevención de incendios y aislamiento de amenazas en las áreas incendiadas del cantón Ibarra

4.3.1 Matriz FODA

Para el establecimiento de las estrategias que se realizaron es importante realizar la Matriz FODA para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que tienen las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios en el cantón Ibarra, las cuales se ven plasmadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Matriz FODA de las áreas de cobertura vegetal incendiadas en el cantón Ibarra

Fortalezas	Oportunidades
<p>F1. Las áreas incendiadas fueron identificadas.</p> <p>F2. Se conocen la extensión de las áreas de cobertura vegetal incendiadas.</p> <p>F3. La vegetación de las áreas incendiadas se recuperó.</p> <p>F4. Interés por parte de la comunidad, en materia de prevención de incendios.</p>	<p>O1. Colaboración por parte de los GADs y el Sistema de Gestión de Riesgos y Emergencias.</p> <p>O2. Participación de los pobladores en proyectos que protejan su localidad de nuevos incendios.</p> <p>O3. La mayoría de los pobladores se encuentran abiertos a tratar sobre acciones que deben dejar de hacer para prevenir nuevos incendios.</p>
Debilidades	Amenazas
<p>D1. Transporte limitado para los habitantes en las localidades.</p> <p>D2. Poco conocimiento por parte de la población en materia de prevención de incendios.</p> <p>D3. Expansión de la frontera agrícola.</p> <p>D4. Falta de conocimiento de alternativas para el manejo de los residuos agrícolas.</p>	<p>A1. Áreas afectadas inaccesibles.</p> <p>A2. Pérdida de áreas de cobertura vegetal y ecosistemas.</p> <p>A3. Falta de control por los GADs de cada parroquia.</p> <p>A4. Escasez de recursos económicos.</p>

4.3.2 Estrategias de prevención y aislamiento de amenazas

A continuación, se plantean tres estrategias de prevención de incendios y aislamiento de amenazas en las áreas de cobertura vegetal incendiadas en el cantón Ibarra, mismas que pueden ser utilizadas para evitar incendios en diferentes puntos de cada parroquia del cantón.

4.3.2.2 Estrategia 1. Proyecto de educación ambiental

Las buenas prácticas ambientales son fundamentales para prevenir y evitar daños mayores a la biodiversidad, sin embargo, la falta de conocimiento o la negligencia de los agricultores no permiten la aplicación de estas, por esta razón es necesario sensibilizar a la población ante los impactos ambientales negativos que pueden causar inadecuadas prácticas agrícolas. Los talleres son un método práctico para educar a los pobladores en materia ambiental, abarcando la mayor cantidad de personas posible.

Sarango et al. (2016) manifiestan en su artículo la escasa coincidencia que tiene la sociedad con la comunidad científica en la diferencia significativa que puede existir si todos tomaran la crisis ambiental que vivimos seriamente, es por ello, que la educación ambiental busca facilitar el entendimiento y aprendizaje de la realidad del medio ambiente para todas las personas, resultando en la concientización, sensibilización y motivación de la población, entidades y organizaciones que conforman nuestra sociedad. Romero y Ramos (2019), confirman que más del 90% de los incendios son consecuencia de actividades antrópicas, categorizando los programas de educación ambiental como urgentes para prevenir incendios mediante recursos didácticos que tengan como objetivo principal, la sensibilización de las personas ante la crisis ambiental con énfasis a los niños y jóvenes.

Objetivo General

Implementar talleres de capacitación sobre la importancia del cuidado del medio ambiente, buenas prácticas ambientales y prevención de incendios en las áreas de cobertura vegetal.

Objetivos específicos

- Sensibilizar a la población sobre los impactos ambientales negativos consecuentes de los incendios en áreas de cobertura vegetal.
- Prevenir el deterioro de la cobertura vegetal producto de incendios forestales.

En la Tabla 13 se visualiza el marco lógico con las actividades detalladas sobre el proyecto de educación ambiental

Tabla 13. Proyecto de educación ambiental

Resumen narrativo	Indicadores verificables	Medios de verificación	Supuestos o hipótesis
<p>Propósito o meta Capacitar a la población en la importancia del cuidado del medio ambiente aplicando buenas prácticas ambientales mediante talleres para prevenir incendios en las áreas de cobertura vegetal.</p>	<p>Al finalizar los tres años del proyecto, se tendrá al menos un 95% de la población del cantón Ibarra capacitada en la aplicación de buenas prácticas ambientales.</p>	<p>-Registro de capacitaciones -Fotografías -Material didáctico. -Material audiovisual.</p>	<p>Se contará con el presupuesto y el apoyo del MAATE y los GADs municipales, en colaboración con universidades que tengan proyectos de vinculación.</p>
<p>Resultados o componentes</p> <p>Sensibilizar a la población sobre los impactos ambientales negativos consecuentes de los incendios en áreas de cobertura vegetal.</p>	<p>Al completar dos años del proyecto, los pobladores tendrán una nueva perspectiva acerca de la realidad ambiental.</p>	<p>Encuestas. Talleres. Fotografías. Registro de capacitaciones.</p>	<p>Se contará con la asistencia de la población y capacitadores del MAATE para el desarrollo del proyecto.</p>
<p>Prevenir el deterioro de la cobertura vegetal producto de incendios forestales.</p>	<p>Al finalizar los tres años del proyecto, los pobladores tendrán conocimiento sobre los impactos ambientales negativos que se pueden evitar con buenas prácticas ambientales.</p>	<p>Encuestas. Fotografías. Talleres. Registro de capacitaciones.</p>	<p>Se contará con el personal proporcionado por los GADs y el MAATE en colaboración con universidades con proyectos de vinculación.</p>
<p>Actividades</p> <p>1.1. Acercamiento a la población e instituciones involucradas (MAATE, GADs, Universidades).</p>		<p>-Registro fotográfico. -Informes.</p>	
<p>1.2. Encuestas acerca de la percepción de los pobladores sobre el ambiente.</p>		<p>-Informes</p>	
<p>1.3. Clasificación de talleres por grupos según la edad de los pobladores.</p>	<p><i>El presupuesto de cada actividad se indicará en el cronograma de actividades</i></p>	<p>-Encuestas realizadas. -Fotografías.</p>	
<p>1.4. Talleres de educación ambiental para niños 8 a 12 años</p>		<p>-Registro fotográfico. -Registro de eventos. -Firmas de asistencia.</p>	

	-Informes.
1.5. Talleres de educación ambiental para adolescentes de 12 a 17 años.	-Registro fotográfico. -Registro de eventos. -Firmas de asistencia. -Informes.
1.6. Talleres de educación ambiental para mayores de edad.	-Registro fotográfico. -Registro de eventos. -Firmas de asistencia. -Informes.
2.1. Debate con los pobladores sobre las causas de un incendio en áreas de cobertura vegetal.	-Registro fotográfico. -Informes.
2.2. Taller de prevención de incendios en áreas de cobertura vegetal.	-Encuestas realizadas. -Fotografías.
2.3. Elaboración de carteles ilustrativos sobre la prevención de incendios en áreas de cobertura vegetal.	-Registro fotográfico. -Información recolectada.
2.4. Ubicación de carteles ilustrativos cerca de las áreas de cobertura vegetal para información de turistas y de la población.	-Registro fotográfico. -Informes.

En la Tabla 14 se indica el cronograma de actividades a realizar en tres años.

Tabla 14. Cronograma de actividades, proyecto de educación ambiental

Actividades	Trimestres												%	Actores	Presupuesto	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1.1. Acercamiento a la población e instituciones involucradas (MAATE, GADs, Universidades).														5%	- MAATE. -GADs.	500.00 USD
1.2. Encuestas acerca de la percepción de los pobladores sobre el ambiente														5%	- MAATE. -GADs.	100.00 USD
1.3. Clasificación de talleres por grupos según la edad de los pobladores.														10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	10.00 USD
1.4. Talleres de educación ambiental para niños 8 a 12 años														10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
1.5. Talleres de educación ambiental para adolescentes de 12 a 17 años.														10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
1.6. Talleres de educación ambiental para mayores de edad.														10%	-Líderes de la comunidad.	1000.00 USD
2.1. Debate con los pobladores sobre las causas de un incendio en áreas de cobertura vegetal.														10%	-Líderes de la comunidad. -GADs - MAATE.	100.00 USD

2.2. Taller de prevención de incendios en áreas de cobertura vegetal.		10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
2.3. Elaboración de carteles ilustrativos sobre la prevención de incendios en áreas de cobertura vegetal.		20%	- MAATE. -GADs.	2000.00 USD
2.4. Ubicación de carteles ilustrativos cerca de las áreas de cobertura vegetal para información de turistas y de la población.		10%	- MAATE. -GADs.	500.00 USD

4.3.2.1 Estrategia 2. Proyecto de reducción de materiales combustibles

La cantidad de residuos vegetales producidos por las actividades agrícolas es significativamente grande, conduciendo a los agricultores a practicar la quema de dichos residuos la cual, al no realizarla de manera controlada o con las debidas precauciones, provocan una extensión del fuego que produce un incendio de una o varias áreas de cobertura vegetal aledañas. Otra de las causas desencadenantes de estos incidentes es la falta de responsabilidad tanto de los turistas, como de las personas de la localidad que realizan actividades recreativas relacionadas al uso del fuego como son las fogatas o juegos pirotécnicos, la basura que arrojan aumentando la cantidad de materia que puede aumentar la combustión y extender el fuego. También existen conflictos entre personas o comunidades en donde se producen incendios como daño colateral.

La eliminación de materiales combustibles es ideal para reducir lo máximo posible toda la materia orgánica que aumenta las probabilidades de producción y expansión de un incendio, afectando a los pobladores y la biodiversidad de la localidad. Moreno et al, (2020) afirma que las prácticas que modifican y aprovechan los residuos de actividades agrícolas, disminuyen el combustible de un posible incendio, mejorando a su vez la fertilidad del suelo y producción. Haltenhoff, (2006) resalta que, la modificación de residuos forestales y agrícolas brinda protección contra los incendios, mejorando la calidad de la producción y del medio ambiente; además, representa una gestión rentable al asegurar la protección de los recursos naturales y enriquecimiento de la tierra.

Objetivo General

Implementar prácticas de manejo integral de residuos combustibles provenientes de las actividades agrícolas y gestión fuego en áreas cercanas a la cobertura vegetal afectada por incendios.

Objetivos específicos

- Reducir la cantidad de residuos agrícolas mediante la aplicación de buenas prácticas ambientales.
- Prevenir la producción y extensión de nuevos incendios en la cobertura vegetal.

Tabla 15. Proyecto de reducción de materiales combustibles

Resumen narrativo	Indicadores verificables	Medios de verificación	Supuestos o hipótesis
Propósito o meta Implementar prácticas de manejo integral de residuos combustibles provenientes de las actividades agrícolas y gestión fuego en áreas cercanas a la cobertura vegetal afectada por incendios.	En tres años, el 95% de los pobladores tendrán los conocimientos suficientes para disminuir residuos combustibles y prevenir la producción y extensión de incendios en las áreas de cobertura vegetal.	Registro de socializaciones. Fotografías. Material didáctico. Material audiovisual	Se contará con el presupuesto y el apoyo del MAATE y los GADs municipales.
Resultados o componentes			
Reducir la cantidad de residuos agrícolas mediante la aplicación de buenas prácticas ambientales.	Al completar un año y medio del proyecto, los pobladores contarán con información básica sobre la reducción de materiales combustibles.	-Talleres. -Fotografías. -Registro de capacitaciones. -Encuestas. -Material didáctica y audiovisual.	Se contará con la participación de la población para realizar las respectivas socializaciones.
Prevenir la producción y extensión de nuevos incendios en la cobertura vegetal.	Al finalizar el proyecto, la población será capaz de reducir los materiales combustibles producto de actividades agrícolas.	-Registro de capacitaciones. -Encuestas. -Fotografías. -Material didáctico y audiovisual.	Se contará con los recursos necesarios para el desarrollo de la capacitación
Actividades			
1.1. Acercamiento a las comunidades e instituciones involucradas.		-Informes de los predios. -Fichas técnicas. -Fotografías aéreas. -Registro fotográfico.	
1.2. Levantamiento de información sobre los predios de producción agropecuaria cercanos a las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios.		-Registro fotográfico. -Informes.	

1.3. Realizar un registro sobre la generación de residuos combustibles generados semanalmente en cada predio.		-Registro fotográfico. -Informes.
1.4. Encuestas sobre el manejo que tienen los predios cercanos a las áreas de cobertura vegetal, sobre los materiales combustibles que generan.	<i>El presupuesto de cada actividad se indica en el cronograma de actividades</i>	-Registro fotográfico. -Informes.
1.5. Taller de modificación de residuos agrícolas por medio de trituradoras.		-Registro fotográfico. -Registro de eventos. -Firmas de asistencia. -Informes.
1.6. Taller de aprovechamiento del material combustible como abono orgánico.		-Registro fotográfico. -Registro de eventos. -Firmas de asistencia. -Informes.
1.7. Traslado de residuos a infraestructuras de incineración.		-Fichas técnicas. -Informes técnicos. -Inventario de residuos. -Registro fotográfico.
2.1. Taller sobre el comportamiento del fuego.		-Registro fotográfico. -Registro de eventos. -Firmas de asistencia. -Informes.
2.2. Delimitación de áreas para realizar quemas controladas de residuos combustibles.		-Registro fotográfico. -Informes.
2.3. Taller sobre quemas controladas de los residuos.		-Registro fotográfico. -Registro de eventos. -Firmas de asistencia. -Informes.
2.4. Charlas sobre el impacto negativo de realizar denuncias sobre negligencias que puedan ocasionar incendios en áreas de cobertura vegetal.		-Informes. -Registro fotográfico.

Tabla 16. Cronograma de actividades, proyecto de reducción de materiales combustibles

Actividades	Trimestres												%	Responsable	Presupuesto	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1.1. Acercamiento a las comunidades e instituciones involucradas.														10%	- MAATE. -GADs.	100.00 USD
1.2. Levantamiento de información sobre los predios de producción agropecuaria cercanos a las áreas de cobertura vegetal afectadas por incendios.														10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	100.00 USD
1.3. Realizar un registro sobre la generación de residuos combustibles generados semanalmente en cada predio.														10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	200.00 USD
1.4. Encuestas sobre el manejo que tienen los predios cercanos a las áreas de cobertura vegetal, sobre los materiales combustibles que generan.														10%	- MAATE. -GADs.	200.00 USD
1.5. Taller de modificación de residuos agrícolas por medio de trituradoras.														10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
1.6. Taller de aprovechamiento del material combustible como abono orgánico.														10%	-Universidades con proyectos de vinculación.	1000.00 USD

			- MAATE. -GADs.	
1.7. Traslado de residuos a infraestructuras de incineración.		5%	- MAATE. -GADs.	500.00 USD
2.1. Taller sobre el comportamiento del fuego.		10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
2.2. Delimitación de áreas para realizar quemas controladas de residuos combustibles.		10%	- MAATE. -GADs. -Pobladores de la comunidad.	2000.00 USD
2.3. Taller sobre quemas controladas de los residuos.		10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
2.4. Charlas sobre el impacto negativo de realizar denuncias sobre negligencias que puedan ocasionar incendios en áreas de cobertura vegetal.		5%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	200.00 USD

4.3.2.2 Estrategia 3. Proyecto de aislamiento de amenazas

La prevención de los incendios es prioritaria por ser la única forma en la que la cobertura vegetal no sufra ningún daño, sin embargo, al no ser posible siempre, se necesitan aplicar alternativas que mitiguen lo máximo posible los efectos negativos del fuego sobre la vegetación y la expansión del mismo. Muchos incendios provocados como consecuencia de la negligencia o malas prácticas agrícolas tienen un efecto exponencial al carecer de control, es decir, que sus impactos negativos incrementan al tener una libre propagación de fuego. También es necesario resaltar la importancia de alternativas que permitan el control de un incendio deben ser viables para los pobladores que desarrollan actividades agrícolas como estilo de vida y así, asegurar su aplicación.

Avendaño y Acosta (2000), mencionan que uno de los más importantes beneficios que brinda el uso de cercas vivas, es la significativa reducción de la fuerza del viento, el cual es uno de los principales pilares para la propagación del fuego, además de que evitan la invasión de malezas, las cuales son combustible que incrementa el tamaño de un incendio en un área de cobertura vegetal. Moreno et al, (2020) mencionan que la aplicación de cinturones verdes es una potencial alternativa para evitar la extensión del fuego, sin embargo, es mejor aplicarlas cuando se establecen los terrenos en donde llevarán a cabo las actividades agrícolas y que los encargados realicen el respectivo mantenimiento.

Objetivo General

Aislar las áreas de cobertura vegetal para mitigar los impactos ambientales negativos ocasionados por incendios por medio de alternativas viables para la población.

Objetivos Específicos

- Proporcionar alternativas viables a los pobladores para prevenir la propagación del fuego en caso de incendios en la cobertura vegetal.
- Mitigar los daños de nuevos incendios en las áreas de cobertura vegetal.

Tabla 17. Proyecto de aislamiento de amenazas

Resumen narrativo	Indicadores verificables	Medios de verificación	Supuestos o hipótesis
<p>Propósito o meta Aislar las áreas de cobertura vegetal para mitigar los impactos ambientales negativos ocasionados por incendios por medio de alternativas viables para la población.</p>	En 3 años se tendrá al menos un 95% de la población del cantón Ibarra capacitada en la aplicación de alternativas que controlen la expansión de un incendio de cobertura vegetal	Registro de capacitaciones Fotografías Material didáctico. Material audiovisual.	Se contará con el presupuesto y el apoyo del MAATE y los GADs municipales.
Resultados o componentes			
Proporcionar alternativas viables a los pobladores para prevenir la propagación del fuego en caso de incendios en la cobertura vegetal.	Al completar un año y medio del proyecto, los pobladores contarán con el conocimiento de alternativas que les permitan controlar un incendio.	Encuestas. Talleres. Fotografías. Registro de capacitaciones.	Se contará con la asistencia de la población y capacitadores del MAATE para el desarrollo del proyecto.
Mitigar los daños de nuevos incendios en las áreas de cobertura vegetal.	Al finalizar los tres años del proyecto, se contará con métodos que mitiguen los daños causados por incendios en la cobertura vegetal.	Encuestas. Fotografías.	Se contará con el apoyo del cuerpo de bomberos y la participación de la comunidad.
Actividades			
1.1. Acercamiento hacia la comunidad e instituciones involucradas (MAATE, GADs).		-Registro fotográfico. -Informes.	
1.2. Realizar una planimetría de dirección del viento.		-Fichas técnicas. -Informes. -Registro fotográfico.	
1.3. Realizar un diagnóstico de especies arbóreas de cada parroquia.		-Fichas técnicas. -Informes. -Registro fotográfico.	
1.4. Taller de aplicación de cercas vivas.		-Informes. -Registro fotográfico.	

1.5. Taller de aplicación de cinturones verdes.	-Registros de asistencia. -Registro fotográfico. -Informes.
1.6. Elaboración de letreros y señaléticas que prohíban la manipulación de fuego cerca de las áreas de cobertura vegetal.	-Registro fotográfico. -Informes.
2.1. Designación de turnos destinados al avistamiento de quemas no controladas.	-Registros de turnos. -Informes de los pobladores a los GADs.
2.2. Establecimiento de un sistema de alarma contra incendios en las comunidades.	-Registro fotográfico. -Informes.
2.3. Ubicación estratégica del sistema de alarma contra incendios.	-Registro fotográfico. -Informes.
2.4. Taller de control de propagación de incendios.	-Registros de asistencia. -Registro fotográfico. -Informes.

Tabla 18. Cronograma de actividades, proyecto de aislamiento de amenazas

Actividades	Trimestres												%	Responsable	Presupuesto	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1.1. Acercamiento hacia la comunidad e instituciones involucradas (MAATE, GADs).	■													10%	-MAATE. -GADs.	100.00 USD
1.2. Realizar una planimetría de dirección del viento.		■												10%	-MAATE. -GADs.	2000.00 USD
1.3. Realizar un diagnóstico de especies arbóreas de cada parroquia.			■											10%	-Universidades con proyectos de vinculación. -MAATE. -GADs.	500.00 USD
1.4. Taller de aplicación de cercas vivas.				■										10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
1.5. Taller de aplicación de cinturones verdes.					■	■								10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs.	1000.00 USD
1.6. Elaboración de letreros y señaléticas que prohíban la manipulación de fuego cerca de las áreas de cobertura vegetal.							■							10%	-Líderes de la comunidad.	2000.00 USD
2.1. Designación de turnos destinados al avistamiento de quemas no controladas.								■	■					10%	-Líderes de la comunidad. -GADs -MAATE.	20.00 USD
2.2. Establecimiento de un sistema de alarma contra incendios en las comunidades.										■				10%	-Universidades con proyectos de vinculación. -MAATE. -GADs.	5000.00 USD

2.3. Ubicación estratégica del sistema de alarma contra incendios.		10%	-MAATE. -GADs.	1000.00 USD
2.4. Taller de control de propagación de incendios.		10%	-Universidades con proyectos de vinculación. - MAATE. -GADs	1000.00 USD

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las parroquias en donde predomina la vegetación densa y vigorosa en las imágenes satelitales pre-incendio son: La Carolina con 23 171.80 hectáreas, San Miguel de Ibarra con 8645,55 hectáreas y Angochagua 11 530.49 hectáreas, mientras que en Ambuquí predomina la vegetación dispersa con 6635.37 hectáreas. A partir del año 2019 se evidencia significativamente el cambio multitemporal de su vegetación, predominando actualmente la tierra agropecuaria. La parroquia Ambuquí se destaca por la recuperación de su cobertura vegetal, cambiando de suelo desnudo o cobertura vegetal con bajos niveles de humedad, por arbustos y vegetación herbácea.

Las áreas de cobertura vegetal del cantón Ibarra afectadas por incendios forestales, recuperaron casi la totalidad de su vigor después de los siniestros registrados. En el año 2020 se observaron con NDVIs de entre 0.21 – 0.40 (Vegetación húmeda) y 0.41 – 1 (Vegetación con alta humedad).

Al registrarse la recuperación de la vegetación producto de la regeneración natural, las áreas de cobertura vegetal del cantón Ibarra necesitan estrategias de acción integral, entre autoridades y población para prevenir daños ocasionados por nuevos incendios. Las estrategias de manejo planteadas se centran en la educación ambiental, prevención de incendios mediante la reducción de materiales combustibles y el aislamiento de las áreas de cobertura vegetal natural.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda implementar las estrategias mediante la colaboración de diferentes identidades públicas, como GADs municipales, el MAATE, el Cuerpo de

Bomberos de Imbabura y proyectos de vinculación con la colectividad por parte de las universidades, con el fin conservar la biodiversidad de los ecosistemas del cantón Ibarra con ayuda de estudiantes y pobladores de cada comunidad.

Se requiere de un sistema de seguimiento continuo para evitar errores en las coordenadas y fechas de las áreas en donde se produjeron incendios de cobertura vegetal y el uso de drones para el levantamiento de información de áreas inaccesibles. Se recomienda utilizar imágenes satelitales de alta resolución que aporten una mayor exactitud evitando la confusión entre píxeles y que tengan todo el espectro de bandas que permitan el cálculo de varios índices espectrales.

Es importante realizar entrevistas programadas a los pobladores aledaños de las áreas en donde ocurrieron incendios con el objetivo de obtener información acerca de las causas y/o responsables de dichos eventos, ayudando a identificar las debilidades y amenazas del cantón, ante las negligencias que provoquen nuevos incendios.

REFERENCIAS

- Abatzoglou, J. y Williams, P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, volumen (113).doi: 10.1073/pnas.1607171113.
- Aguilar, H., Mora, R. y Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo Flaash del Software Envi. *Revista Geográfica de América Central*, volumen (2), 39-59. doi: 10.15359/rgac.2-53.2.
- Arango, S. y Chingal, M. (2019). *Zonificación de cobertura vegetal propensa a incendios en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura* (Trabajo de titulación para obtener el título de ingenieros en Recursos Naturales Renovables). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Alva, G., Reyes, H., Palacio, A., Núñez, D., y Muñoz, C., (2018). Cambios en el paisaje ocasionados en incendios forestales en la región de Madera, Chihuahua. *Madera y Bosques*. Volumen (24). doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431697>.
- Avendaño, S. y Acosta, I. (2000). Plantas utilizadas como cercas vivas en el estado de Veracruz. *Madera y Bosques*, Volumen (6), 55-71. doi: 10.21829 / myb.2000.611342.
- Arenas, S., Heager, F., y Jordano, D. (2011). Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) y bosque esclerófilo mediterráneo. *Revista de Teledetección*. 55-71. Recuperado de: http://www.aet.org.es/revistas/revista35/Numero35_07.pdf.

- Armenteras, D., González, T., Vergara, L., Luque, F., Rodríguez, N., y Bonilla, M. (2015). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*. ISSN, 1697-2473. Recuperado de www.revistaecosistemas.net.
- Armenteras, D., Retana, J., Molowny, R., Roman, R. M., Gonzalez, F., y Morales, M. (2011). Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 279-289.
- Ariza, F., Rodríguez, J. y Alba, V. (2018). Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *GeoFocus (Artículos)*, nº 21, 215-226. doi:10.21138/GF.591.
- Barboza, E., Turpo, E., Almeida, C., Salas, R., Rojas, N., Silva, J., Barrena, M. y Espinoza, R., (2020). *Monitoreo de incendios forestales en el noreste de la Amazonía peruana utilizando imágenes Landsat-8 y Sentinel-2 en la plataforma GEE*. doi: 10.3390/ijgi9100564.
- Benalcázar, C.G. (2017). Evaluación de los procesos erosivos en la microcuenca de la Quebrada Ambuquí – Cochapamba, norte del Ecuador.
- Beltrán, C., y Pozo, G. (2012). Zonificación ecológica económica; aspectos biofísicos; recursos naturales; aspectos socioeconómicos. (Trabajo de titulación para obtener el título de ingenieros en Recursos Naturales Renovables). Universidad Técnica del Norte, Imbabura, Ecuador.
- Camacho, V., y Ruiz, A., (2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio – Ciencias*. 821000. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/26222994.pdf>.

- Casella, A., Barrionuevo, N., y Rezzola, A., (2019). Preprocesamiento de imágenes satelitales del sensor 2A y 2B con el Software SNAP 6.0. Instituto del Clima y el agua. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/333091912_PRE-PROCESAMIENTO_DE_IMAGENES_SATELITALES_DEL_SENSOR_SENTINEL_2A_y_2B_CON_EL_SOFTWARE_SNAP_60.
- Chamorro, H., y Erazo, A (2019). Estudio multispectral del cultivo de tuna para determinar los índices NDVI, CWSI y SAVI, a partir de imágenes SENTINEL 2A, en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador. *Enfoque*. 10(3). 55 – 66. doi: <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.453>.
- Choza, J. (2019). Herramientas SIG y de teledetección aplicadas al incendio de Las Peñuelas (Huelva): previsión de riesgo y valoración de daños. (Trabajo fin de grado). Universidad de Sevilla, España.
- COA, Código Orgánico del Ambiente. (2017). Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017 Estado: Vigente.
- Columba, M., Quisilema, W., Padilla, O., y 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.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Reformas en Registro Oficial-Suplemento de 13 de julio de 2011.
- Cruz, D., Curbelo, E., Ferrer, Y., Ávila, D. (2020). Variaciones espaciales y temporales en el índice de vegetación de diferencia normalizada en Cuba. *Ecosistemas*, 29(1).

Díaz, J., (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. (Trabajo de fin de Master en Tecnologías de la Información Geográfica). Universidad Complutense de Madrid.

Donoso, E., (2012). *Análisis del sistema ambiental según la metodología de SENPLADES, como aporte a la planificación y ordenamiento territorial del cantón Ibarra*. (Disertación previa a la obtención del título de Ingeniería en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable con mención en Ordenamiento Territorial) Pontificia Universidad Católica, Imbabura, Ecuador.

El Telégrafo (01 de septiembre del 2014). Incendio en Ibarra consume 450 hectáreas en 3 días. Diario El Telégrafo. Recuperado de: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion/1/incendio-en-ibarra-consume-450-hectareas-en-3-dias>.

Fernández, I., Morales, N., Olivares, J., Gómez, M. y Montenegro, G., (2010). Conceptos de restauración ecológica. RechedCat. (Ed) *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Pag 19 – 22. Santiago – Chile.

Fernández, F., Velasco, V., Guerrero, J., Galvis, M., & Neri, A., (2016). Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia forestal* 19(2),143-160, Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v19n2/v19n2a02.pdf>.

Fonseca, J., Gómez, S. (2013). Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat caso de estudio: Cambio de área laderas de la ciénaga de Tumaradó Parque

Natural Los Katíos (Especialización en Geomática Universal Militar).
Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá - Colombia.

Fundación SISDEC, (2013) Desarrollo del plan estratégico del cuerpo de bomberos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo 2013- 2017, definición y análisis del Plan Operativo 2014.

Cervantes C., (2017) Beneficios de la planeación estratégica en el crecimiento organizacional., Editorial. Aced., México.

García., M. (2016) La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. *Producción + Limpia. Vol. 11 No. 2.* doi: <http://dx.doi.org/10.22507/pml.v11n2a13>

Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra. (2020). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra.* Ibarra: Gobierno Autónomo descentralizado de Ibarra.

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Imbabura. (2020). Diagnóstico (Ed. 1) *Plan de forestación y reforestación de la provincia de Imbabura.* (pp. 33 – 35). Imbabura, Ecuador.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, (2017). *Ordenanza que norma el plan de gestión ambiental, en el cantón San Miguel de Ibarra.* Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra. 2017 – 2023.

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural San Pedro de la Carolina, (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Pedro de la Carolina. 2009 – 2019.

- Gómez, E., Obregón, N., Rocha, D. (2013). Métodos de segmentación de nubes en imágenes satelitales. *Tecnura Vol. 17 No. 36* pp. 96 – 110. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6900/850>.
- Gómez, S. y del Pilar, M. (2008). Estudio comparativo de índices espectrales para la cartografía de áreas quemadas con imágenes MODIS. *Revista de Teledetección. ISSN: 1988-8740. 2008. 29, 15-24.*
- Guala, A., Orbe, k. (2019). *Plan de reforestación de zonas afectadas por incendios forestales nivel 2 en la comunidad pesillo – cantón Cayambe* (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingenieras Ambientales). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ecuador.
- Haltenhoff, H. (2006). *Silvicultura preventiva: Silvicultura para la prevención de incendios forestales en plantaciones forestales*. Ministerio de Agricultura CONAF, Chile. Recuperado de https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1361911072Silvicultura.pdf.
- Heredia, L., Alaustra, A., Martínez, S., Quintero, E., Piñeos, W., Chuvieco, E. (2003). Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes Landsat ETM+. *GeoFocus, 2003, N° 3, pp 216-234.* Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n56/art12.pdf>.
- Herzog, S., Martinez, R., Jorgensen, P., y Tiessen, H., (2011). Cambio climático y biodiversidad en los Andes tropicales. Instituto Interamericano para la investigación del Cambio Global (IAI) y Comité Científico de Problemas del Medio Ambiente. doi: 10.13140 / 2.1.3718.4969.
- Ilustre Municipio de Ibarra – IMI. (2008). *Plan de Desarrollo Cantonal*. Equipo Técnico Interinstitucional. Ibarra.

- Jácome, G. (2015). Propuesta de gestión de los conflictos socio-ambientales generados por el agua de consumo humano dentro de la microcuenca de la Laguna de Yahuarcocha. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Jácome, G., Mejía, J., Guerra, N., Romero, A., Piedmag, N., Padilla, C., Tanaí, I. y Pupiales, N. (2020). Los volcanes de Imbabura y su tiempo geológico. Universidad Técnica del Norte. *Ficaya Emprende*. Ibarra, Ecuador.
- Lasso, C., y Córdova, J., (2009). Identificación de áreas potenciales para repoblación forestal del cantón San Miguel de Ibarra. Universidad Técnica del Norte. Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/111/2/03%20FOR%2063%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>.
- Ospina, R. (2017). Mapeo de áreas quemadas por incendios forestales en el Ecuador utilizando información satelital de la NASA, período 2000-2016. 112 hojas. Quito: EPN. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>.
- Manta, M., (2013). Cambio global e incendios forestales en América del Sur. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/286451235_Cambio_global_e_incendios_forestales_en_America_del_Sur.
- Medina, V., Velasco, Y. y Cruz, P. (2006). Los bancos de recursos genéticos y su papel en la conservación de la biodiversidad. *ORINOQUIA Volumen 10 (1)*, 71-77.
- Ministerio del Ambiente y Agua (Sin fecha). Reserva ecológica Cotacachi – Cayapas. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/reserva-ecologica-cotacachi->

cayapas/#:~:text=UBICACION%3A%20En%20las%20provincias%20de, 1%20601%E2%80%934%20939%20msnm.

Michalijos, M. y 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. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n56/art12.pdf>.

Molina, J., Rodríguez, F., y Ruiz, L. (2019). La integración de herramientas económicas y teledetección en la evaluación del impacto de los incendios forestales. Informe Técnico General PSW-GTR-261. Recuperado de https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr261esp/psw_gtr261esp_146.pdf.

Montalvo, X. (2020). *Análisis espacio-temporal de los incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador, en el período 2014 – 2019* (trabajo de titulación). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Manabí, Ecuador.

Montoya, D. (2015). *Análisis multitemporal de incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito mediante Sistemas de Información Geográfica* (Trabajo de titulación). Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.

Moreno, K., Salleses, L., Quiñonez, A., Fernández, M., y Gyenge, J. (2020). Incendios forestales: Factores que incrementan los riesgos y como prevenirlos. *Visión Rural, Año XXVII N°134*. ISSN 0238 – 7009. Recuperado de https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/8441/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Moreno_K_Incendios_forestales_factores_incrementan_riesgos.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Morante, F., Bravo, L., Carrión, P., Velástegui, A. (2022). Forest fire assessment using remote sensing to support the development of an action plan proposal in Ecuador. *Remote Sensing* 14 (8): 31. doi: 10.3390/rs14081783
- Navarro, R., Ortiz, F., Hayas, A., y Castillo, M. (2015). Metodología para la elaboración de un plan de restauración post-incendio en Chile: la experiencia del Parque Nacional de Torres del Paine. *Anales del Instituto de la Patagonia, volumen (43)*, 53 - 73. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100005>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). NDVI de las parroquias La Carolina, Ambuquí, San Miguel de Ibarra y Angochagua. EarthMap (earthmap.org).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2010). Los recursos zoogenéticos y la resistencia ante enfermedades. La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia.
- Opazo, S., y Rodríguez, F. (2007). Variación espacial de índices espectrales sobre áreas quemada en Sudamérica. *Cuaderno de Investigación Geográfica*. 39 – 57. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2569793>.
- Ospina, E. (2017). Mapeo de áreas quemadas por incendios forestales en el Ecuador utilizando información satelital de la NASA, período 2000-2016. 112 hojas. Quito: EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18807>.
- Paz, F. (2018). Correcciones atmosféricas relativas de imágenes de satélite: Patrones invariantes y modelos atmosféricos. *Terra Latinoamericana*, volumen (36) número 1, 2018.

- Pla, M., Duane, A., Brotons, L. (2017). Potencial de las imágenes UAV como datos de verdadero terreno para la clasificación de la severidad de quema de imágenes Landsat: aproximaciones a un producto útil para la gestión post-incendio. *Teledetección*. 49, 91-102. doi: <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7140>
- Quistial, G. (2016). *Propuesta de un plan de prevención de incendios forestales, en las parroquias la Carolina y Salinas, cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. (Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal) Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador.
- Rodríguez, A. (2012). Cartografía multitemporal de quemas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación post-incendio. *Ecología en Bolivia* 47: 53-71, abril 2012. ISSN 1605-2528.
- Ramos, R., Palma D., Ortiz C., Ortiz, C., y Díaz., G. (2004). Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *Terra Latinoamericana*. ISSN: Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=573/57322303>
- Romero, J., y Ramos, A. (2019). Herramientas didácticas y educación ambiental en la prevención de incendios forestales: Una experiencia en vinculación con la sociedad. *Memorias del VIII Investiga UTPL*, (pp.742), Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/339416525_Herramientas_didacticas_y_educacion_ambiental_en_la_prevenccion_de_incendios_forestales_Una_experiencia_de_vinculacion_con_la_sociedad.
- Rosero, E. (2016). *“Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal del Bosque Protector Andino Zuleta, en la Sierra Norte del Ecuador”* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

- Rosero, M. (2017). *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura* (Tesis de Maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Santos, J., Vallejo, G., y Vieira, P., (2014). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia. V 2.0. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Sánchez, N., (2007) El marco lógico. Metodología para la planificación, seguimiento y evaluación de proyectos. *Visión Gerencial*, 328-343. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545876012>.
- Sarango, J., Sánchez, S. y Landívar, J. (2016). Educación ambiental, ¿Por qué la historia?. *Universidad y Sociedad*. 8 (3). pp. 184 -187. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>.
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). Plan de creación de oportunidades 2021 – 2025. Quito – Ecuador.
- Seingier, G., Espejel, I., Fermán, J. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación Ambiental 2009 I (1)*: 54-69. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Ileana-Espejel/publication/229054553_Cobertura_vegetal_y_marginacin_en_la_costa_mexicana/links/00b49517d5a9372292000000/Cobertura-vegetal-y-marginacin-en-la-costa-mexicana.pdf.
- Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2017). Controlado incendio forestal en páramos de Zuleta. Boletín de Prensa. Recuperado de: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/controlado-incendio-forestal-en-paramos-de-zuleta/>.

Sistema Nacional de Áreas Protegidas. (2014). Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ecuador - Subsistema de áreas protegidas privadas. Proyecto de sostenibilidad financiera en las áreas protegidas. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/10/MAE-Boleti%CC%81n-SOMOS-07-final.pdf>.

Society for Ecological Restoration (SER) (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Recuperado de https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-spanish.pdf.

Soria, R., J., C.A. Ortiz-Solorio, F. Islas G. y V. Volke H. (1998). Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales: Experiencias en México. *Publicación Especial 7*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

Suarez, K., (2018). Identificación y caracterización de las zonas de vida del Distrito de Satipo. Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4884/Suarez%20Bravo%20Kinn%2001.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Tapia, C., Monteros., Baer, Natasha., Tacan, M., (2014). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos. Banco Nacional de Germoplasma. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. doi: 10.13140/RG.2.1.2324.2482

Toaza, E. (2019). *Aplicación de tecnologías geoespaciales para estimación de áreas quemadas desde una perspectiva multitemporal en la Provincia de Chimborazo* (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

- Ulloa, M., (2016). Análisis textual al diseño de una revista para el Quito Zoo como estrategia de comunicación ambiental. Universidad San Francisco de Quito USFQ <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6047/1/129523.pdf>.
- Valdez, K. M., Bravo, L. C., y M, L. L. (2019). Áreas quemadas y cambio de uso del suelo en el suroeste de Chihuahua (México) durante el periodo 2013-2017: Identificación con el índice Normalized Burn Ratio (NBR). *Acta Universitaria* 29, e2418. doi: 10.15174.au.2019.2418.
- Valdés, V. (2007). Prácticas de manejo en la conservación Ex Situ y su relación con la sostenibilidad ambiental. *Tecnología en marcha*, (21 – 1), 152-160.
- Vélez, R. (2000). Las quemas incontroladas como causas de incendios forestales. *Cuadernos de la S.E.CE., junio 2000* (N° 9), 13-26.
- Velázquez, E., (2014). La biodiversidad en el Ecuador. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/La%20Biodiversidad.pdf>.
- Vargas, J., (2017). Incendios forestales en Quito: Acción humana o acción de la naturaleza (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: Licenciado en Gestión para el Desarrollo Local Sostenible.) Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.
- Vásquez., M. (2019) Conservación de la naturaleza y áreas naturales protegidas en territorios de los pueblos originarios de la frontera sur de México. *Sociedad y Ambiente. No. 15.* Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762017000300117

Zeballos, G., Soruco, A., Cusicanqui, Joffré, R. y Rabatel, A. (2014). Uso de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y sistemas de información geográfica para caracterizar la dinámica espacial de glaciares y humedales de alta montaña en Bolivia. *Ecología en Bolivia versión On-line* ISSN, 2075-5023.

ANEXOS

Anexo 1. Incendios forestales en el periodo de tiempo 2010 a 2020 de 10 a 50 hectáreas

Fecha de inicio	Extensión (ah)	Ubicación	
		Parroquia	Sector
03/08/2012	10.00	Carolina	Cerro San Pablo
09/09/2012	10.00	Carolina	Guallupe
15/09/2012	10.00	San Francisco	Antenas de Yuracruz
15/09/2012	10.00	Caranqui	Chuchupungo
21/08/2012	11.00	San Francisco	Romerillo Alto
10/08/2012	14.00	Sagrario	Yuracruz
03/06/2012	15.00	San Francisco	Loma de las Guayabillas
02/07/2012	15.00	San Antonio	Cobuendo
26/07/2012	15.00	San Antonio	Guallabamba
07/08/2012	15.00	San Francisco	Yuracrusito
21/08/2012	15.00	San Francisco	Lulunqui - Yuracrusito
21/08/2012	15.00	Lita	Palo Amarillo
27/08/2012	15.00	La dolorosa del Priorato	Yahuarcocha
27/09/2012	15.00	Angochagua	Angochagua
06/09/2012	17.00	San Francisco	La Victoria, comunidad el Tablón
13/08/2012	20.00	Angochagua	Zuleta
24/09/2012	20.00	La Esperanza	Cashaloma
27/07/2012	24.00	Sagrario	Chilcapamba
27/07/2012	25.00	Salinas	Palacara
30/09/2012	25.00	San Antonio	San Nicolás – Cerro Imbabura
27/07/2012	30.00	San Francisco	El Tablón
14/08/2012	30.00	Angochagua	La Rinconada
21/08/2012	30.00	Angochagua	Yaguachi
08/09/2012	30.00	San Francisco	Aloburo
20/09/2012	30.00	Sagrario	Manzano
27/09/2012	30.00	La Esperanza	La Rinconada
07/08/2012	40.00	Carolina	San Pedro
08/09/2012	40.00	Sagrario	Añaspamba
17/09/2012	40.00	Angochagua	Zuleta
02/08/2013	10.00	La Esperanza	
08/10/2013	12.00	La Esperanza	Hacienda La Remonta del GCM 36 Yaguachi

15/07/2013	20.00	Carolina	Gualupe
15/06/2013	40.00	Carolina	El Limonal
13/03/2014	10.00	Salinas	Hacienda Palenques
28/06/2014	18.00	Angochagua	La Rinconada - Gallo Rumi
16/07/2014	11.00	Carolina	Peña Negra
26/07/2014	12.00	La dolorosa del Priorato	Añaspamba
31/07/2014	20.00	Carolina	Peña Negra
04/08/2014	43.00	Carolina	San Francisco
10/08/2014	10.00	Carolina	Peña Negra
23/08/2014	48.07	San Antonio	Loma Redonda
06/08/2015	10.00	La Esperanza	Cacholoma
08/08/2015	10.00	Carolina	San Jerónimo
19/08/2015	10.00	Carolina	Rocafuerte
13/09/2015	10.00	Carolina	Santa Marianita
13/09/2015	10.00	Sagrario	Socapamba
16/09/2015	10.00	San Francisco	San Edurado
22/09/2015	10.00	San Francisco	Yuracruz
29/07/2015	11.00	Carolina	El Corazón de San Jerónimo
20/08/2015	11.00	San Antonio	Compañía de Jesús
02/07/2015	15.00	Salinas	Palacara
06/09/2015	15.00	Angochagua	La Magdalena
21/09/2015	15.00	La Dolorosa Del Priorato	San Miguel de Yahuarcocha
01/07/2015	20.00	Sagrario	Hacienda de Conraqui - Huertos Familiares
16/07/2015	20.00	Carolina	Las Tablas
31/07/2015	20.00	Carolina	El Corazón de San Jerónimo
13/09/2015	20.00	Angochagua	La Magdalena
01/07/2015	21.00	Salinas	Palacara - Minas de sal
20/07/2015	30.00	Carolina	El Limonal
29/08/2015	40.00	Carolina	Peña Negra
13/09/2015	40.00	San Antonio	Santo Domingo Alto
28/09/2015	40.00	Guayaquil De Alpachaca	Lomas de Azaya
17/10/2016	10.00	Carolina	Peña Negra
16/08/2016	11.00	Sagrario	Socapamba-Botadero de basura
07/10/2016	11.06	Carolina	El Limonal
12/08/2016	13.89	San Francisco	Añaspamba
03/09/2016	17.1	San Francisco	La Violeta
03/10/2016	20.00	Angochagua	Angochagua vía La Rinconada
15/02/2016	22.00	Carolina	El Corazón del Guadual
07/07/2016	25.00	Sagrario	Manzano Guaranguí
20/08/2016	30.00	Angochagua	La Magdalena - Gallo Rumi

06/04/2017	10.00	Carolina	Gualupe
14/09/2017	20.00	Carolina	Cuajara
26/10/2018	13.23	Salinas	Salinas
12/06/2018	17.77	Carolina	San Jerónimo
26/08/2018	19.83	Carolina	Gualupe
31/10/2018	20.00	Angochagua	La Magdalena
10/03/2018	20.34	Angochagua	La Rinconada-Gallo Rumi
13/10/2018	24.22	Carolina	El Remolino
30/09/2018	24.83	Carolina	Gualupe
30/09/2018	44.96	Carolina	El Limonal
21/08/2019	11.04	Salinas	Salinas
15/08/2019	13.12	Carolina	San Pedro
02/09/2019	13.85	Carolina	Imbiola
15/08/2019	14.78	Carolina	Tercer Paso
18/08/2019	21.56	Guayaquil De Alpachaca	Miravalle
30/08/2019	23.53	Carolina	Gualupe
24/09/2019	28.63	Carolina	San Jerónimo
08/09/2019	28.97	Carolina	Vía a Urbina
13/09/2019	29.89	Carolina	El Cercado
19/08/2019	37.94	Carolina	Luz de América
04/11/2020	15.00	San Francisco	Añaspamba
11/09/2020	17.30	Sagrario	Manzano Guarangui
26/08/2020	35.00	Angochagua	Zuleta
11/10/2020	35.33	Angochagua	Trojes – Cerro Cubilche

Fuente: Sistema Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias