



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Cartografía, evaluación y seguimiento de incendios forestales de la
zona sur del Ecuador usando datos satelitales.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Soto Torres, Fátima Priscila.

DIRECTOR: González Jaramillo, Víctor Hugo, Ing.

CO-DIRECTOR: Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo, Ph. D.

LOJA – ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Ingeniero.

Víctor Hugo González Jaramillo.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Cartografía, evaluación y seguimiento de incendios forestales de la zona sur del Ecuador usando datos satelitales. Realizado por Soto Torres Fátima Priscila, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Noviembre de 2016.

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Soto Torres Fátima Priscila declaro ser autor (a) del presente trabajo de titulación: Cartografía, evaluación y seguimiento de incendios forestales de la zona sur del Ecuador usando datos satelitales, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo Víctor Hugo González Jaramillo director y Fernando Oñate Valdivieso co – director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Soto Torres Fátima Priscila

1105165615

DEDICATORIA.

Todo mi esfuerzo a lo largo de mi carrera se lo dedico a Dios y a mi mamá porque con su ejemplo, esfuerzo y sacrificio me ha mostrado como se continúa de pie a pesar de las adversidades.

A mi ángel que me abraza desde el cielo Mamita.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios que nunca soltó mi mano, y me ayudo a salir de toda situación difícil, pero que sobre todo no me permitió rendirme en la lucha por mis anhelos.

Gracias a la Sra. Miriam Torres, mi mamá, mujer activa, luchadora, responsable que con su ejemplo, esfuerzo y sacrificio ha sido mi apoyo económico, moral y espiritual. Extiendo este agradecimiento también a mi familia, a mi papá, hermana, hermanos, abuelitos, mis amigos y compañeros.

A mi director por el tiempo que ha dedicado para resolver y apoyar en todas las dudas que surgieron en el desarrollo de este trabajo.

A la Secretaria Zonal 7 de Gestión de Riesgos, por la información de incendios forestales desde el año 2010 hasta 2015.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CÁRÁTULA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Teledetección	8
2.1.1. Espectro electromagnético.....	9
2.1.2. Términos y unidades de medida.	10
2.1.3. Radiación electromagnética.....	11
2.1.4. Infrarrojo térmico.....	13
2.2. Índices espectrales.....	14
2.2.1. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>).....	14
2.2.2. Índice de área quemada <i>Normalized Burn Ratio</i> (NBR).	16
2.3. Sensores	17
2.3.1. Tipos de sensores.....	17
2.3.2. Resolución de un sensor.....	18
2.4. Sistema satelital	20
2.4.1. Satélites de baja resolución.	21
2.4.2. Satélites de mediana resolución.	22
2.4.3. Satélites de alta resolución.	24
2.5. Corrección de imágenes satelitales	26
2.5.1. Correcciones radiométricas.....	26
2.5.2. Correcciones geométricas.	27
2.6. Análisis visual de imágenes satelitales	27
2.6.1. Combinación de falso color.....	28
2.6.2. Análisis multi – temporal.	28
2.7. Clasificación de las imágenes.....	28
2.7.1. Clasificación supervisada.....	29

2.7.2. Clasificación no supervisada.....	29
2.7.3. Método mixto.....	29
2.8. Análisis estadístico.....	30
2.8.1. Distancia normalizada.....	30
2.8.2. Mínima distancia.....	31
2.8.3. Métodos no paramétricos.....	31
2.9. Incendios forestales.....	32
2.9.1. Definición.....	32
2.9.2. Causas de incendios forestales.....	32
2.9.3. Efectos de incendios forestales.....	33
2.9.4. Incendios forestales en el Ecuador.....	33
2.9.5. Incendios forestales en la provincia de Loja.....	33
2.9.6. Incendios forestales en la provincia de Zamora Chinchipe.....	33
2.9.7. Incendios forestales en la provincia de El Oro.....	34
2.9.8. La combustión e inflamabilidad contribuyentes en un incendio forestal.....	34
CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO.....	35
3.1. Ubicación geográfica.....	36
3.1.1. Loja.....	37
3.1.2. Zamora Chinchipe.....	38
3.1.3. El Oro.....	40
CAPÍTULO 4: DATOS / MATERIALES.....	43
4.1. Datos.....	44
4.1.1. Land Cover.....	44
4.1.2. Eart explorer.....	44
4.1.3. Inventario de incendios forestales.....	44
4.1.4. Inventario de imágenes satelitales.....	46
4.1.5. Precipitación.....	47
Elaborado: El autor.....	48
4.2. Software.....	48
4.2.1. Idrisi (v.17.0).....	48
4.2.2. Gvsig (v.1.11).....	48
CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA.....	49
5.1. Descripción de la metodología.....	50
5.2. Corrección de imágenes satelitales.....	51

5.2.1. Correcciones Radiométricas en imágenes Landsat.	51
5.2.2. Corrección Topográfica.....	52
5.3. Clasificación Supervisada.	53
5.4. Diferencia de bandas espectrales.....	53
5.4.1. Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI).	54
5.4.2. <i>Normalized Burnt Ratio</i> (NBR).	54
5.4.3. Índice de separabilidad.	55
5.5. Análisis multitemporal.....	55
5.6. Definición de umbrales con el NBR para la Zona Sur del Ecuador.	56
5.6.1. Análisis quemado según el tipo de cobertura vegetal.	56
5.6.2. Análisis de áreas quemadas y su relación con la precipitación.	58
5.6.3. Coeficiente de Kappa.....	58
CAPÍTULO 6: RESULTADOS.....	59
6.1. Inventario forestal	60
6.2. Distancia normalizada entre índices	60
6.3. Distancia normalizada en cobertura vegetal	61
6.4. Índices espectrales antes y después del incendio	62
6.5. Umbrales según la cobertura vegetal.....	63
6.6. Análisis Estadístico.....	64
6.7. Análisis de áreas quemadas según la precipitación.....	70
6.8. Coeficiente de Kappa	73
CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN	76
CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	85
1. Cartografía de incendios forestales 2000.	86
2. Cartografía de incendios forestales 2001.	87
3. Cartografía de incendios forestales 2003.	88
4. Cartografía de incendios forestales 2004.	89
5. Cartografía de incendios forestales 2005.	90
6. Cartografía de incendios forestales 2006	91
7. Cartografía de incendios forestales 2007	92
8. Cartografía de incendios forestales 2009	93
9. Cartografía de incendios forestales 2010	94

10.	Cartografía de incendios forestales 2012.....	95
11.	Cartografía de incendios forestales 2013.....	96
12.	Cartografía de incendios forestales 2014.....	97
13.	Cartografía de incendios forestales 2015.....	98
14.	Inventario de incendios forestales año 2000.....	99
15.	Inventario de incendios forestales año 2001.....	100
16.	Inventario de incendios forestales año 2002.....	100
17.	Inventario de incendios forestales año 2003.....	100
18.	Inventario de incendios forestales año 2004.....	101
19.	Inventario de incendios forestales año 2005.....	101
20.	Inventario de incendios forestales año 2006.....	102
21.	Inventario de incendios forestales año 2007.....	103
22.	Inventario de incendios forestales año 2009.....	103
23.	Inventario de incendios forestales año 2010.....	104
24.	Inventario de incendios forestales año 2011.....	105
25.	Inventario de incendios forestales año 2012.....	105
26.	Inventario de incendios forestales año 2013.....	106
27.	Inventario de incendios forestales año 2014.....	107
28.	Inventario de incendios forestales año 2015.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

fig. 1 Componentes de un sistema de teledetección satelital	8
fig. 2 Esquema del espectro Electromagnético	9
fig. 3 Clasificación de sensores pasivos.....	17
fig. 4 Clasificación de sensores activos.....	18
fig. 5 Características y parámetros orbitales	21
fig. 6 Ubicación de la zona de estudio, provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.	36
fig. 7 Mapa topográfico de la provincia de Loja.	38
fig. 8 Mapa topográfico de la provincia de Zamora Chinchipe.	39
fig. 9 Mapa topográfico de la provincia de El Oro.....	41
fig. 10 Incendios forestales de la zona sur del Ecuador mayores a 20 ha.	45
fig. 11 Clasificación de incendios forestales de acuerdo a las hectáreas afectadas. ...	46
fig. 12 a) Imagen satelital cubierta con el 10% de nubes y b) Imagen satelital cubierta con 40% de nubes.	46
fig. 13 Proceso de las imágenes satelitales Landsat para delimitar los perímetros de áreas quemadas.	50
fig. 14 Ecuaciones Correcciones Radiométricas	51
fig. 15 Mosaico de 6 imágenes SRTM	52
fig. 16 Imagen Landsat combinación (7, 4,1); a) sin corrección topográfica b) corregida topográficamente	53
fig. 17 Combinación de la bandas (7, 4,1), incendio forestal Nambacola.	53
fig. 18 NDVI, incendio forestal San Pablo de Tenta.	54
fig. 19 NBR, incendio forestal San Pablo de Tenta.	55
fig. 20 a) NBR antes del incendio forestal San Pablo de Tenta, b) NBR después del incendio forestal San Pablo de Tenta, c) diferencia entre la imagen de antes y después del incendio forestal San Pablo de Tenta.....	56

fig. 21 Muestreo aleatorio de perímetros detectados como incendios a partir de la clasificación supervisada.....	57
fig. 22 Incendios forestales detectados con la clasificación supervisada.....	60
fig. 23 Distancia Normalizada de acuerdo al índice de vegetación.....	61
fig. 24 Distancia Normalizada con los índices NBR y NDVI según el tipo de cobertura vegetal.....	62
fig. 25 NBR, antes y después del incendio forestal según la cobertura vegetal.....	63
fig. 26 NDVI, antes y después del incendio forestal según la cobertura vegetal.....	63
fig. 27 Desviación típica para cobertura vegetal de intervención.....	65
fig. 28 Desviación típica para cobertura vegetal de bosque siempre verde montano de Catamayo – Alamor (B.S.V.M.C.A).....	65
fig. 29 Desviación típica para arbustal semideciduo del sur de los valles.....	66
fig. 30 Desviación típica para bosque semideciduo pie montano de Catamayo – Alamor	66
fig. 31 Desviación típica para bosque semideciduo montano bajo de Catamayo - Alamor	67
fig. 32 Desviación típica para arbustal siempre verde de montano del sur de los andes	67
fig. 33 Desviación típica para bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes.....	68
fig. 34 Desviación típica para bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo – Alamor.....	68
fig. 35 Desviación típica para herbazal del páramo.....	69
fig. 36 Precipitación en el mes de mayo e incendio suscitado el 08-05-2015 en Gonzanamá.....	71
fig. 37 Precipitación en el mes de agosto de 2004 e incendios suscitados el 03-08-2004 y 13-08-2004 en Catacocha.....	71
fig. 38 Mapa de precipitaciones del día 22-09-2013 y 4 incendios, ocurridos en diferentes zonas.	72

fig. 39 Precipitaciones registradas en la estación de Gonzanamá durante el mes de septiembre.....	72
fig. 40 Mapa de precipitaciones del mes de septiembre.....	73
fig. 41 Sitio el Ingenio 2, delimitación del perímetro del área quemada. a) perímetro delimitado con clasificación supervisada y fig. b) perímetro delimitado de acuerdo a un umbral.....	74
fig. 42 Sitio el Ingenio 1, delimitación del perímetro del área quemada. a) perímetro delimitado con clasificación supervisada y fig. b) perímetro delimitado de acuerdo a un umbral.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Magnitudes radiométricas.	10
Tabla 2: Emisividad de algunas cubiertas.	13
Tabla 3 Rango de valores de NDVI.....	14
Tabla 4 Bandas de algunos sensores para medir el NDVI	14
Tabla 5 Detalle espacial proporcionado por algunos sensores.	19
Tabla 6 Inventario de incendios forestales	45
Tabla 7 Nombre de las estaciones metereologicas.....	47
Tabla 8 Cobertura vegetal afectada por los incendios forestales en la zona sur del Ecuador	57
Tabla 9 Umbrales según NBR	64
Tabla 10 Umbrales según NDVI	64
Tabla 11 Valores de significancia con Kolmorov – Smirnov de acuerdo a cada grupo de clasificación.	69
Tabla 12 Valores de significancia con U Mann Witney entre dos grupos de cobertura	70
Tabla 13 Clases de acuerdo a la significancia, nuevos grupos	70
Tabla 14 Matriz cruzada entre las clases de pixeles quemado y no quemado, para la obtención del coeficiente de Kappa, incendio El Ingenio 1.....	73
Tabla 15 Matriz cruzada entre las clases de pixeles quemado y no quemado, para la obtención de coeficiente de Kappa, incendio El Ingenio 2.	74
Tabla 16 Comparación de los datos del área afectada según la SGR, de acuerdo al umbral y con la clasificación supervisada	75

RESUMEN

En este trabajo de investigación se obtuvo la cartografía de incendios forestales de la zona sur del Ecuador, basada en la metodología propuesta por Opazo y Chuvieco (2009), a través de la detección de píxeles semillas; para eso se ha incluido la creación e implementación de una herramienta computacional para la delimitación automática de los perímetros de los incendios forestales.

Esta metodología consiste en obtener los valores del índice de área quemada *Normal Burn Ratio* (NBR) de cada píxel con énfasis en la señal de carbón emitida por un incendio forestal, con el fin de generar un algoritmo que cumpla con las condiciones de: tamaño mínimo de agrupación y el umbral que detecta el píxel como quemado, para la delimitación automática.

El umbral corresponde a la zona sur del Ecuador y en el análisis se incluyen los umbrales para el tipo de cobertura vegetal afectada. Los resultados son bastante satisfactorios para incendios forestales superiores a 10 píxeles.

PALABRAS CLAVES: cartografía, incendios forestales, NBR, perímetros, píxeles, Landsat

ABSTRACT

In this forest fires in the south of Ecuador were wapped. The methodology is bas on the of seed pixels detection as proposed by Opazo and Chuvieco (2009). Also was created and implemented a computational tool for the automatic delineation of the perimeters of forest fires.

In this methodology, it obtain the values of the index Normal Burn Ratio (NBR) of pixel with emphasis on carbon signal issued by a forest fire with the finality of generate an algorithm according to the terms of: minimum pool size and the threshold that detects a pixel burned it for delineate the perimeters of forest fires.

The thresholds are to the south of Ecuador and in the analysis are included the thresholds for the type of coverage affected. The results are satisfactory for forest fires major 10 pixels.

KEYWORDS: cartography, forest fire, NBR, perimeters, pixels, Landsat

**CAPÍTULO 1:
INTRODUCCIÓN**

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales representan una amenaza a nivel mundial pues contribuyen a la generación de los gases de efecto invernadero y la deforestación (Chuvienco, 2008). La mayoría de las causas de los incendios forestales se deben a la acción del ser humano, para cambiar de tipo de cultivo, o convertir al terreno en pastizales (Vélez, 2000). Sin embargo, estas quemas no se realizan con el fin de acabar con los bosques, pero como son realizadas en temporada seca se convierten en llamaradas incontrolables.

Las cartografías de áreas quemadas generadas a escala global se han basado fundamentalmente en el análisis de imágenes satelitales, a partir de la comparación multitemporal de los índices de bandas espectrales (Opazo & Chuvienco, 2009). Desde hace muchos años atrás se han propuesto algunas metodologías de teledetección como: “el análisis de mezclas espectrales (Fraser, Li, & Cihlar, 2000), generación de nuevos índices, establecimiento de umbrales a partir de bandas originales o índices (Haller al.,1998), clasificaciones supervisadas (Cahoon, Stocks, Levine, Cofer, & Pierson, 1994), regresiones logísticas (Fraser, Fernandes, & Latifovic, 2002), clasificaciones no supervisadas (Benson y Briggs, 1978), análisis multivariante de las bandas originales (Tanaku et al, 1983), análisis de series temporales (Milne, 1986), entre otras técnicas” (Opazo & Chuvienco, 2009,p.51).

En muchos países no se dispone de una cartografía del área quemada (Verdú & Salas, 2010), ni si quiera se cuenta con los registros históricos de eventos de incendios, como es el caso de la zona sur del Ecuador. Esto lleva a una terrible escases de información a la hora de inventariar los efectos y daños producidos a la flora, fauna, suelo, y al mismo ser humano (García & Chuvienco, 2004). Además impide generar una solución con planes de remediación y prevención.

En Ecuador, para inventariar los daños es necesario realizar un levantamiento de campo para tener una información adecuada y aproximada a la realidad; sin embargo esto requiere de tiempo y recursos. En muchos casos la información es errónea puesto que se evalúan los daños a simple vista y los datos de áreas afectadas son una simple aproximación. Hoy existen nuevas tecnologías que permiten hacer mediciones del perímetro de los incendios forestales como GPS (*Global Position System*) (Heredia, Martínez, Quintero, Piñeros, & Chuvienco, 2003), y el uso de fotografías aéreas a partir de las cuales se puede extraer estas mediciones con costo muy elevados. Entre otras dificultades esta que no se puede hacer una retrospectiva histórica a través de estos medios. Con el uso de las imágenes satelitales es posible cubrir zonas amplias además de que se puede contar con registros históricos del territorio. “De manera formal en Ecuador hasta el momento no se han aplicado técnicas de Teledetección para cartografiar, evaluar y seguir la recurrencia de los incendios forestales” (Cure, 2015).

A través de las imágenes satelitales es posible identificar un incendio forestal, debido a que los valores registrados en el infrarrojo térmico sufren un incremento substancial (Verdú & Salas, 2010). Sin embargo el paso del satélite por la zona de interés y registro de la imagen satelital puede no coincidir con el instante en que se produjo el incendio. Por lo que se tendrá que implementar una metodología en la que sea posible delimitar de manera adecuada el área del incendio.

Con la combinación de bandas, clasificación supervisada, y un análisis discriminatorio basado en los índices espectrales se obtendrá la cartografía de incendios forestales (De Santis & Vaughan, 2009).

En caso de no existir disponibilidad de imágenes satelitales a la hora o día en que ocurrió el suceso, se procederá a realizar un análisis multi temporal por medio de los índices espectrales. Algunos índices son utilizados para evaluar la vegetación y otros específicos de área quemada, pues la reflectividad que origina un cultivo sano es completamente diferente en comparación con uno dañado por un incendio. (De Santis & Vaughan, 2009). La reflectividad en el infrarrojo cercano es mayor por la clorofila, mientras que en comparación a un cultivo dañado (De Santis & Vaughan, 2009). Por tal razón se utilizaran el índice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) que se encuentran en un rango de -1 a 1 (Chuvienco, 2006). Sin embargo la respuesta de la vegetación quemada en el visible, también puede generar una confusión con otros fenómenos (De Santis & Vaughan, 2009). Para evitar estos problemas se ha utilizado el índice de área quemada *Normalized Burnt Ratio* (NBR) y se añadido al proceso un análisis discriminatorio que consiste en utilizar imágenes antes del incendio y post incendio para obtener el umbral que servirá para la delimitación automática del área quemada. Los umbrales se establecen a partir de un análisis estadísticos del NBR post incendio.

Las imágenes satelitales son una herramienta muy importante para inventariar datos, pues a través de las bandas que componen una imagen satelital se puede combinar y generar la cartografía de las áreas afectadas por incendios forestales, esto aplicado en el sur del país (provincias de Loja, Zamora Chinchipe y El Oro). Estos fenómenos tienen mayor incidencia en temporada seca que según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para la provincia de Loja corresponde a los meses de septiembre a diciembre, en Zamora Chinchipe de noviembre a enero y para El Oro de julio a diciembre. La presencia de vidrios y basura, así como el viento y la topografía originan que los incendios sean de gran magnitud y puedan convertirse en un verdadero problema a la hora de controlarlos (Opazo & Chuvienco, 2009).

La dificultad principal es la alta nubosidad que existe en Ecuador, estudios anteriores realizados para Sudamérica muestran que el Ecuador está entre los países con el mayor porcentaje de nubes, pues presenta del 30 al 100 % de nubes. (Opazo & Chuvieco, 2009)

El Capítulo 1 contiene una breve introducción del trabajo de fin de titulación, en el Capítulo 2 se muestran los conceptos que son considerados relevantes en el proceso de investigación, el Capítulo 3 muestra la delimitación del área estudio, las características topográficas, climáticas y de vegetación, el Capítulo 4 contiene los datos y software utilizados para el procesamiento de información, el Capítulo 5 indica la metodología, las técnicas y procesos utilizados para la detección y delimitación de los incendios forestales, el Capítulo 6 muestra los resultados de la metodología empleada, en el Capítulo 7 se discute y comparan los resultados, finalmente en el Capítulo 8 es posible mostrar las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

**CAPÍTULO 2:
MARCO TEÓRICO**

2.1. Teledetección

Hablar de Teledetección significa obtener información de la superficie terrestre sin tener contacto directo con ella (Gutierrez Claverol, 1993). Con la Teledetección se puede remplazar el trabajo de campo, sin embargo siempre es importante corroborar los datos obtenidos con un levantamiento de información (Sobrino, 2000). Las ventajas de la Teledetección se deben a la información que se proporciona desde el espacio (Harris, 1987) como cobertura global y sinóptica, frecuencia temporal y actualización de datos, homogeneidad de datos y formato digital (Sobrino, 2000).

La Teledetección es considerada también como una técnica que tiene como propósito la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas por satélites artificiales (Sobrino, 2000), en donde es posible percibir un objeto desde el espacio. Sin embargo para esto es necesario que exista una interacción entre el objeto y el satélite; por ejemplo el ojo humano a simple vista no puede percibir un objeto, por lo que es necesaria una energía externa que podría ser emitida por el propio objeto o incluso por el sensor como en la fig. 1 (Chuvieco, 2008). Un sensor puede adquirir información a través de la reflexión, emisión, y por emisión – reflexión (Chuvieco, 2006).

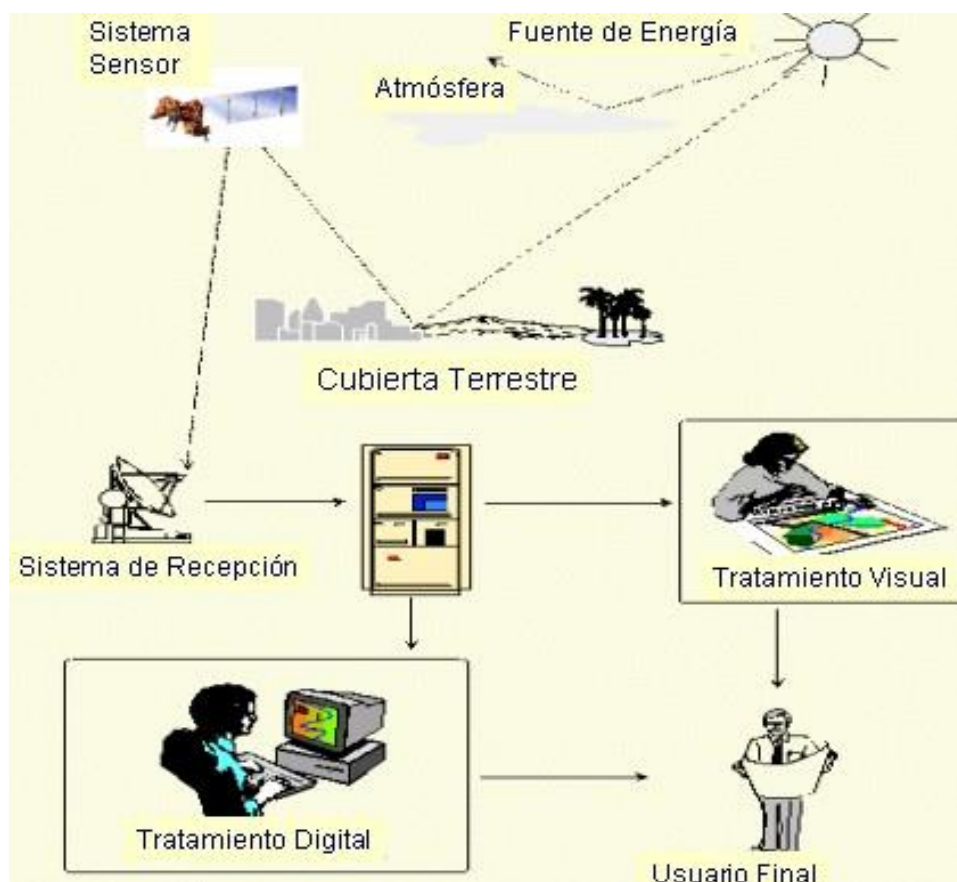


fig. 1 Componentes de un sistema de teledetección satelital
Fuente y Elaboración: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

2.1.1. Espectro electromagnético.

Se conoce como espectro electromagnético al conjunto de ondas electromagnéticas que están principalmente en función de la longitud de onda o frecuencia. Por tal motivo a las frecuencias bajas le corresponde una longitud de onda mayor, mientras que a las frecuencias altas le corresponde una longitud de onda menor (Chuvienco, 2006). En la fig. 2 se puede visualizar las regiones del espectro electromagnético.

- Espectro visible (0,4 – 0,7 μm). Como su nombre lo indica es la banda que el ojo humano puede percibir y es por la misma razón que en esta región se distinguen tres bandas elementales, azul (0,4-0,5 μm), verde (0,5-0,6 μm), y rojo (0,6-0,7 μm) (Chuvienco, 2006).
- Infrarrojo cercano (0,7-1,3 μm). Se denomina cercano debido a que parte de él puede ser detectado (Chuvienco, 2006), debido a las películas especiales que posee.
- Infrarrojo medio (1,3 – 8 μm). Según Chuvienco (2006) se divide en dos bandas; la primera comprendida entre 1,3 y 2,5 μm , y denominada de onda corta (*Short Wave Infrared*, SWIR), es utilizada para estimar el contenido de humedad en la vegetación y suelos. La segunda está en torno a 3,7 μm , es importante porque detecta focos de alta temperatura como incendios y se conoce como infrarrojo medio.
- Infrarrojo lejano o térmico (8 – 14 μm), según Chuvienco (2006) detecta el calor proveniente de las cubiertas terrestres. La atmosfera es más o menos transparente por tanto es la ventana del infrarrojo térmico y la franja de esta longitud llega directamente al espacio.
- Micro – ondas (por encima de 1mm), Transparente a la nubosidad. Los sensores de microondas son los sistemas activos, como el radar métrico.

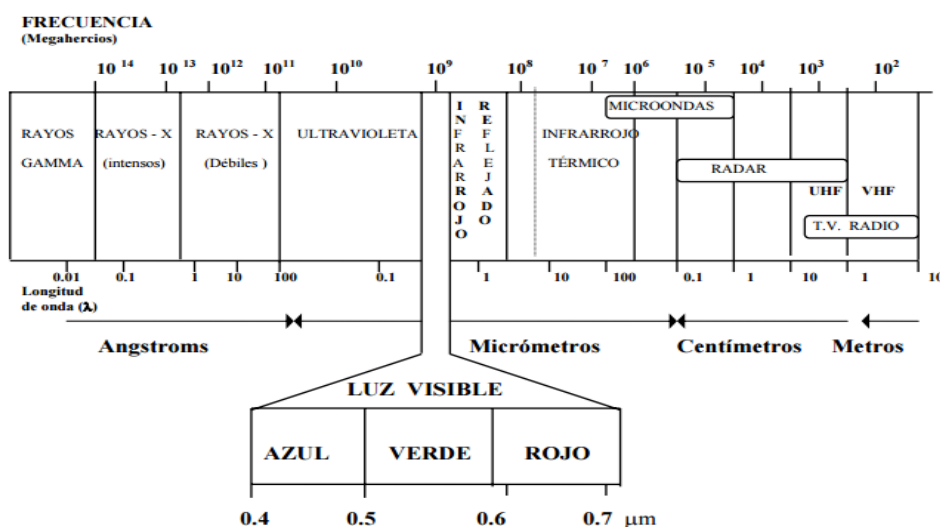


fig. 2 Esquema del espectro Electromagnético

Fuente y Elaboración: Chuvienco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

2.1.2. Términos y unidades de medida.

Se exponen los términos comunes que se utilizan para definir el proceso de percepción remota, es necesario tenerlos claros ya que gracias a estos procesos se puede conocer concretamente cómo funciona la detección del flujo energético por el sensor.

“Las magnitudes comúnmente utilizadas en teledetección se presentan a continuación en la tabla 1. (Curran, 1985; Elachi, 1987; Rees, 1999; Slater, 1980)” (Chuvieco, 2006):

Tabla 1: Magnitudes radiométricas.

Concepto	Símbolo	Fórmula	Unidad de medida
Energía radiante	Q	---	Julios (J)
Flujo radiante	ϕ	$\delta Q/dt$	Vatios (W)
Emitancia	M	$\delta \phi/\delta A$	Wm^{-2}
Irradiancia	E	$\delta \phi/\delta A$	Wm^{-2}
Intensidad radiante	I	$\delta \phi/\delta \Omega$	Wsr^{-1}
Radiancia	L	$\delta \phi/\delta A \cos \theta$	$Wm^{-2}sr^{-1}$
Radiancia espectral	L_λ	$\delta L/\delta \lambda$	$Wm^{-2}sr^{-1}um^{-1}$
Emisividad	ϵ	M/M_n	
Reflectividad	ρ	ϕ_r/ϕ_i	
Absortividad	α	ϕ_a/ϕ_i	
Transmisividad	τ	ϕ_t/ϕ_i	

Fuente: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

- Energía radiante (Q). Indica el total de energía radiada o energía de las ondas electromagnéticas en todas las direcciones. Se mide en julios (J) (Chuvieco, 2007).
- Flujo radiante (ϕ). La energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo (Chuvieco, 2006).
- Emitancia o excitancia radiante (M). Es conocida como el flujo radiante que sale de un origen interno o fuente (ej. el Sol). Es el total de energía radiada en todas las direcciones desde un área y por unidad de tiempo. Se mide en vatios por metro cuadrado (Wm^{-2}) (Chuvieco, 2006).
- Irradiancia (E). Se conoce como irradiancia a los flujos radiantes que brillan sobre una superficie. La irradiancia es el total de energía radiada sobre una unidad de área y por unidad de tiempo. Tiene relación con la emitancia en lo que concierne a energía, con la diferencia que la emitancia indica la energía emitida y la irradiancia a la energía incidente (Chuvieco, 2006).

- Intensidad radiante (I). Es el flujo radiante por ángulo sólido (Ω). Este ángulo es un ángulo tridimensional y se representa como un cono, se mide en estéreo – radianes. Por lo tanto su unidad es vatios por estéreo – radián (Wsr^{-1}) (Chuvienco, 2006).
- Radiancia (L). Es sumamente importante pues describe precisamente lo que mide el sensor (Chuvienco, 2007). Es el total de energía radiada en una dirección por unidad de área y por ángulo sólido. Su unidad de medida es el vatio por metro cuadrado y estéreo – radián ($Wm^{-2}sr^{-1}$).
- Radiancia espectral (L_λ). En este caso es el total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y por ángulo sólido. En un concepto más extenso con el subíndice λ se refiere a espectral, así que si se hablase de radiancia, emitancia e irradiancia, sería espectral y a una determinada longitud (Chuvienco, 2006).
- Emisividad (ϵ). Relación entre la emitancia de una superficie (M), y la que ofrecería un emisor perfecto, denominado cuerpo negro, a la misma temperatura (M_n). En definitiva la emisividad es la capacidad que tiene la superficie de un cuerpo para emitir radiación en comparación con un cuerpo negro (Luyo & Méndez, 2008)
- Reflectividad (ρ). Relación entre el flujo incidente y el que refleja un cuerpo (Chuvienco, 2006). Su unidad de medida es adimensional, se saben representar en porcentaje (%).
- Absortividad (α). Relación entre el flujo incidente y el que absorbe un cuerpo (Chuvienco, 2006). Su unidad de medida es adimensional, se saben representar en porcentaje (%).
- Transmisividad (τ). Relación entre el flujo incidente y el transmitido por un cuerpo. Su unidad de medida es adimensional, se saben representar en porcentaje (%) (Chuvienco, 2006).

2.1.3. Radiación electromagnética.

Se descompone de dos palabras, radiación que hace referencia a la energía emitida, transmitida y propagada por ondas; y electromagnética que se refiere a los campos eléctricos y magnéticos. “Por lo tanto la radiación electromagnética es la energía propagada a través de campos eléctricos y magnéticos” (Pérez, 2005). Para explicar este fenómeno hasta el momento existen dos teorías:

- La primera teoría de Huygens considera que a mayor longitud de onda, menor frecuencia y viceversa.

- La segunda teoría o teoría Maxwell, en la que el resultado es exactamente igual únicamente que en el análisis se incluye el cálculo del contenido energético. Por lo tanto mayor longitud de onda, menor frecuencia y menor contenido energético.

Para evaluar y explicar el proceso de radiación, Planck generó una fórmula en la que sostiene que cualquier objeto por encima del cero absoluto (-273°C) radia energía, y que esta aumenta con la temperatura. Para explicar el aumento de la radiación con la temperatura se supone un cuerpo negro o emisor perfecto, es decir un objeto que absorbe y emite toda la energía que recibe, mientras un cuerpo blanco refleja energía y por tanto emisividad igual a cero. En definitiva con la emisividad y temperatura se puede conocer el comportamiento radiativo y por ende determinar la banda más idónea del espectro. A través de la siguiente ecuación se indica la emitancia radiativa:

$$M_{n,\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left\{ \exp \frac{c_2}{\lambda T} - 1 \right\}} \quad (1) \text{ (Chuvieco, 2006)}$$

Dónde:

$M_{n,\lambda}$ = Emitancia radiativa a una determinada longitud de onda λ

c_1 = constante $3,741 \times 10^8 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^4$

c_2 = $1,438 \times 10^4 \mu\text{m K}$

λ = Longitud de onda

T = Temperatura absoluta de un cuerpo negro.

2.1.3.1. Ley de Plack

Es la relación entre flujo de energía y longitud de onda:

$$M_{n,\lambda} = \frac{2\pi h c^3}{\lambda^5 \left\{ \exp \frac{hc}{\lambda k T} - 1 \right\}} \quad (2) \text{ (Chuvieco, 2006)}$$

Dónde:

$M_{n,\lambda}$ = Emitancia radiativa a una determinada longitud de onda λ

h = constante de Planck $6,626 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$

k = constante de Boltzman $1,38 \times 10^{-23} \text{ W s}^2 \text{ K}^{-1}$

λ = Longitud de onda

c = velocidad de la luz $2,9973 \times 10^8 m/s$

T = Temperatura absoluta de un cuerpo negro.

2.1.3.2. Ley de Wien

Se conoce también como ley de desplazamiento, a partir de la ecuación de Planck se calcula la longitud de onda a la que se produce la máxima emitancia de un cuerpo negro conociendo su temperatura. La importancia de esta ley radica en la selección de banda más conveniente para detectar un objeto a determinada temperatura (Chuvieco, 2006)

$$\lambda_{max} = \frac{2,898}{T} \mu m k \quad (3) \text{ (Chuvieco, 2006)}$$

Dónde:

λ = Longitud de onda

T = Temperatura absoluta de un cuerpo negro.

2.1.4. Infrarrojo térmico.

Según las leyes de Planck y Wien, está banda espectral se fija entre 8 y 14 μm , por lo tanto es aquí donde se tiene la mayor emitancia espectral de la superficie terrestre porque su temperatura es aproximadamente 300 K. Se tiene que aclarar que en esta banda la emisividad es el resultado de la temperatura de la superficie terrestre (Chuvieco, 2006).

Según la ley de Kirchoff, la emisividad depende de la capacidad que tenga un cuerpo para absorber esta energía; por esta razón a mayor absorción, mayor emisión.

En el infrarrojo térmico (IRT) y el infrarrojo medio (IRM), existen algunos estudios de la emisividad para identificar la cantidad de energía que absorbe y radia un objeto (Chuvieco, 2006). En la tabla 2 se muestran la emisividad de algunas cubiertas.

Tabla 2: Emisividad de algunas cubiertas.

Vegetación Densa	0,99
Agua	0,98
Suelos Arenosos	0,9
Nieve	0,8
Metales	0,16

Fuente: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

Elaboración: El autor

El contenido de humedad afecta la emisividad de algunos productos, según Mulders, 1987 (Citado en Chuvieco, 2006) por ejemplo la arena de 0,9 a 0,94 aumenta en un 8% el contenido de humedad.

2.2. Índices espectrales.

Son las respuestas electromagnéticas de un cuerpo a una frecuencia dada. Estos índices son los transformadores e indicadores de los datos espectrales (Gómez & Martín, 2008). Por medio de estos índices en las detecciones de incendios forestales con imágenes satelitales se realizan análisis discriminatorios y eliminan las falsas detecciones o la omisión de zonas afectadas.

2.2.1. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*).

El NDVI es un índice de vegetación enfocado en dos canales el rojo visible (R) y el infrarrojo cercano (IRC), por lo tanto se resalta la señal de la vegetación. Este índice normalizado se encuentra en el rango de -1 a 1 y es utilizado para identificar desde los cuerpos de agua hasta la vegetación vigorosa respectivamente como se muestra en la tabla 3. También se utiliza para identificar incendios forestales a través de la vegetación perdida o dañada (Chuvieco, 2006; De Santi & Patrick, 2009).

Tabla 3 Rango de valores de NDVI

Clasificación	Valor
Nubes y agua	<0,01
Suelo sin vegetación	0,01 – 0,1
Vegetación ligera	0,1 – 0,2
Vegetación mediana	0,2 – 0,4
Vegetación alta	>0,4

Fuente: López, A. et al, (2015), Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Scielo*, 121 - 137.

Los sensores captan información en varias bandas, cada banda mide un espectro diferente, por lo tanto se debe asociar la respuesta dependiendo de cada sensor. En la tabla 4 se muestra las bandas que se utilizan en diferentes sensores para obtener el NDVI:

Tabla 4 Bandas de algunos sensores para medir el NDVI

BANDAS Infrarrojo cercano - rojo	SENSOR
7 y 5	MSS
4 y 3	TM y ETM+
3 y 2	HRV
2 y 1	AVHRR

Fuente: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

El modelo teórico de Guyot y Gu (1994) (Citado en Chuvieco, 2006), señala que los valores del NDVI para imágenes Landsat calculados a partir de números digitales (ND) están entre 0,05 y 0,2. Por lo que propone una corrección equivalente de los ND con reflectividades:

Landsat – TM:

$$NDVI_{TM,\rho} = \frac{ND_{IRC} - 0,801 ND_R}{ND_{IRC} + 0,801 ND_R} \quad (4)$$

Dónde:

ND_{IRC} = Número digital en el infrarrojo cercano

ND_R = Número digital en el rojo

En caso de que se disponga de reflectividades la ecuación es la siguiente:

$$NDVI_{TM,\rho} = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,R}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,R}} \quad (5)$$

Dónde:

ρ_{IRC} = Reflectividad en el infrarrojo cercano

ρ_R = Reflectividad en el rojo

Cuando se trabaja con imágenes satelitales y sobre todo previo a la obtención del NDVI se debe realizar algunas correcciones atmosféricas y topográficas (Chuvieco, 2006).

Para resolver los problemas atmosféricos y a la vez obtener el NDVI, simplemente se ajusta el índice, denominándose índice de vegetación atmosféricamente resistente (ARVI: Kaufman y Tanré, 1992):

$$ARVI_i = \frac{\rho_{IRC}^* - \rho_{RA}^*}{\rho_{IRC}^* + \rho_{RA}^*} \quad (6)$$

Dónde:

ARVI: Atmospherically resistant vegetation index (índice de vegetación resistente a presión atmosférica).

ρ_{IRC}^* = Reflectividad aparente en el infrarrojo cercano

ρ_{RA}^* = Diferencia de reflectividades entre el rojo y azul

$$\rho_{RA}^* = \rho_R^* - \gamma (\rho_A^* - \rho_R^*) \quad (7)$$

Dónde:

ρ_R^* = Reflectividad aparente en el rojo

ρ_A^* = Reflectividad aparente en el azul

Existe otro índice para reducir simultáneamente el efecto atmosférico y de cambios en el color del suelo denominado GEMI (*Global Environment Monitoring Index*). Para imágenes AVHRR se calcula como (Pinty y Verstraete, 1992):

$$GEMI = n * (1 - 0,25 * n) - \frac{\rho_R - 0,125}{1 - \rho_R} \quad (8)$$

Donde

GEMI: Global Environment Monitoring Index

$$n = \frac{2 * (\rho_{IRC}^3 - \rho_R^2) + 1,5 * \rho_{IRC} + 0,5 * \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R + 0,5} \quad (9)$$

ρ_R = Reflectividad en el rojo

ρ_{IRC} = Reflectividad en el infrarrojo cercano

Los valores del NDVI al ser un índice normalizado se encuentran en el rango de -1 a 1, en donde los valores altos representan una vegetación vigorosa.

2.2.2. Índice de área quemada *Normalized Burn Ratio (NBR)*.

Es el índice más antiguo y más utilizado, en un principio denominado *Normalized Difference Infrared Index (NDII)* y desde 2005 se denomina NBR. Este índice se utiliza para cartografiar incendios forestales, así como también identificar los daños que ha sufrido la vegetación (De Santi & Patrick, 2009). La ecuación utilizada se muestra a continuación:

$$NBR_I = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,SWIR}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,SWIR}} \quad (10)$$

Dónde:

NBR= Normalized Burnt Ratio

$\rho_{i,SWIR}$ = Reflectividad del pixel en la banda del infrarrojo de onda corta

$\rho_{i,IRC}$ = Reflectividad del pixel en la banda del infrarrojo cercano

2.3. Sensores

Los sensores son dispositivos sensibles, con la capacidad de convertir una magnitud física como presión, temperatura en una diferencia potencial o de intensidad. Estos sensores a través de la energía suministran información del estado y tamaño de la magnitud (Mora, 2011).

2.3.1. Tipos de sensores.

Todos los sensores tienen la capacidad de obtener información, sin embargo según Chuvieco (2006) para clasificarlos, se considera su procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas. Por lo tanto, se habla de dos tipos de sensores.

2.3.1.1. Sensores Pasivos.

Según Chuvieco (2006) estos sensores únicamente reciben la energía que provenga de un foco exterior a ellos. Esta energía electromagnética procede de la cubierta terrestre por la reflexión de los rayos solares o es emitida por su temperatura. Los sensores pasivos se clasifican de acuerdo al procedimiento que emplean para recibir la información como se observa en la fig. 3:

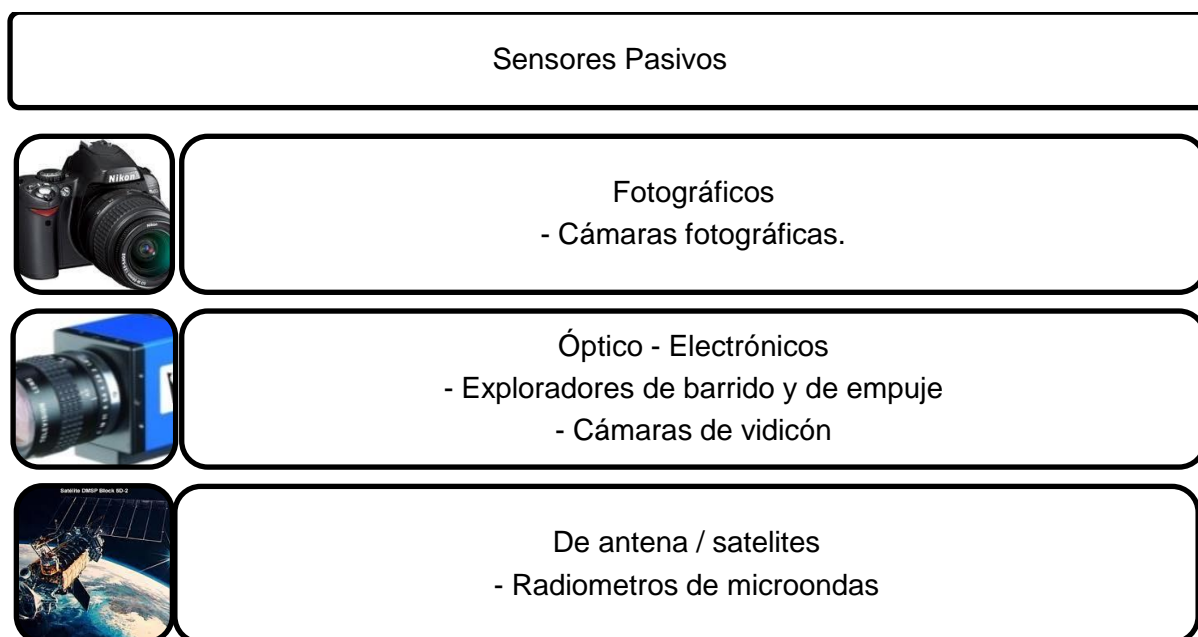


fig. 3 Clasificación de sensores pasivos

Fuente: E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

Elaboración: El autor

2.3.1.2. Sensores activos.

Un sensor activo es capaz de emitir su propio haz de energía. Son independientes ya que no están definidos por las condiciones exteriores. Estos sensores son muy utilizados para procedimientos militares y para el control aéreo. Entre los más conocidos está el radar que trabaja en micro – ondas. A continuación se exponen algunos sensores activos en la fig. 4.

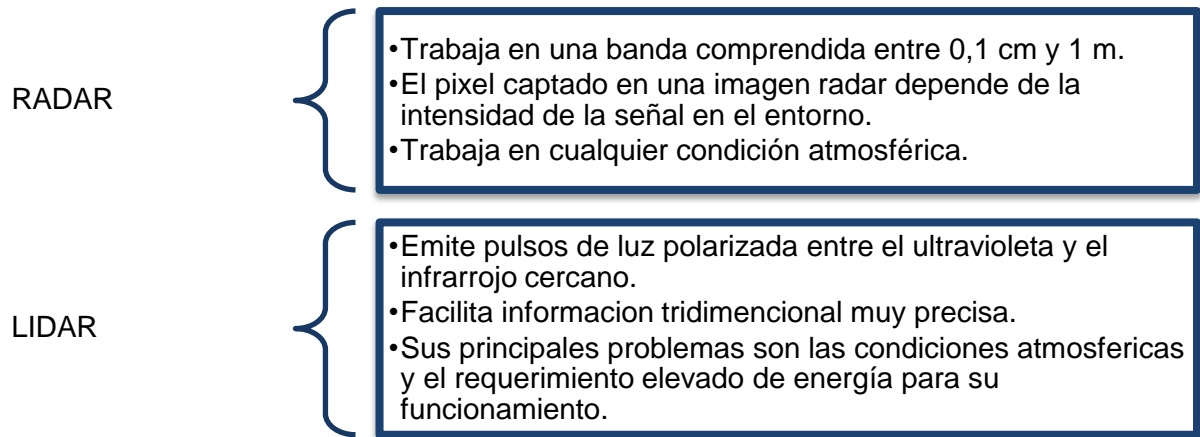


fig. 4 Clasificación de sensores activos.

Fuente: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

Elaboración: El autor.

2.3.2. Resolución de un sensor.

Según Estes y Simonett (Citado en Chuvieco, 2006), la resolución de un sensor es la habilidad para discriminar información de detalle. Al hablar únicamente de la resolución de un sensor nos referimos al efecto combinado de sus distintos componentes.

Existen algunas diferencias, por lo tanto de acuerdo a esto se mencionan las clasificaciones de resolución.

2.3.2.1. Resolución espacial.

El término se refiere a la distinción de un objeto pequeño en la imagen (Pérez Gutierrez & Muñoz Nieto, 2006). Cuando menor es el tamaño de pixel, mejor resolución tiene la imagen y es posible discriminar más objetos. Por ejemplo en una imagen Landsat TM con resolución espacial de 30 m. es posible discriminar un objeto con anchura inferior a este umbral siempre que sea lineal. Un sistema fotográfico la considera como la mínima separación entre los objetos observados en la fotografía (Pérez Gutierrez & Muñoz Nieto, 2006).

En los sensores óptico – electrónico para referirse a resolución espacial, se utiliza el concepto de campo de visión instantáneo (*instantaneous field of view*, IFOV). Este IFOV es una sección angular medida en radianes, por lo tanto a la distancia sobre el terreno le corresponde ese ángulo, que se calcula conociendo la distancia del suelo al sensor (Sobrino, 2000). Es importante destacar que “la resolución espacial de un sensor óptico – electrónico depende de factores como: altura orbital, velocidad de exploración, y número de detectores” (Sobrino, 2000).

Los sensores de antena dependen del radio de abertura, la altura de plataforma, y la longitud de onda (Chuvieco, 2006).

A continuación se exponen algunas resoluciones de satélites en la tabla 5:

Tabla 5 Detalle espacial proporcionado por algunos sensores.

Detalle espacial	Sensores
Entre 0,61 y 4 m.	Ikonos – 2
1*1 m 6*6 m 120*120 m (canal térmico)	Sensores de observación terrestres Sensor pancromático IRS – 1C Landsat – TM
Entre 200 y 1100 m	IRS – Wifs Modis Seawifs SPOT – Vegetation NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – AVHRR
5 km	Meteosat GOES GMS

Fuente: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.
Elaboración: El autor

Según el detalle espacial de un sensor, la resolución espacial y fiabilidad está sujeta a la escala de trabajo y capacidad de interpretación.

2.3.2.2. Resolución espectral.

“Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor” (Chuvieco, 2006,p. 88).

La cantidad de bandas presentes en la imagen son importantes, así como el ancho; bandas estrechas recogen la señal coherente mientras que las amplias recogen un valor más amplio (Chuvieco, 2006).

Los sensores de menor resolución espectral son el radar y los sistemas fotográficos, y se corrobora lo dicho anteriormente pues estos únicamente disponen de 1 y 3 bandas respectivamente (Chuvieco, 2006).

Los sensores óptico – electrónico contiene de 3 hasta 220 bandas, esta última ofrecida por el sensor Hyperion, a bordo del satélite EO – 1 (Chuvieco, 2006).

2.3.2.3. Resolución radiométrica.

Es la sensibilidad que tiene el sensor, para detectar la radiancia espectral. La resolución radiométrica en los sistemas fotográficos se identifica con los niveles de gris recogido en la película (Chuvieco, 2006). Para los ópticos – electrónicos, la imagen se presenta en formato digital y los valores de resolución radiométrica son los que codifica el sensor.

2.3.2.4. Resolución temporal.

Se refiere a cada que tiempo el sensor proporciona datos; es decir la frecuencia de cobertura de la misma zona de la superficie terrestre. La cobertura está en función de la altura, velocidad, inclinación, diseño del sensor, y del ángulo total de abertura. En la mayoría de los satélites o en casi todos, depende también de las condiciones atmosféricas (Chuvienco, 2006)

2.3.2.5. Resolución angular.

El término de resolución angular se refiere a la capacidad del sensor para observar una misma zona desde diferentes ángulos (Chuvienco, 2006). Se supone que la señal que se ofrece es la misma independientemente del ángulo con que se observan, pero en la realidad esto no es así, debido a los efectos de reflectividad bidireccional que presentan algunas superficies.

2.4. Sistema satelital

Un sistema satelital, es un sistema con la capacidad para recibir y retransmitir la señal captada, a una frecuencia que evite interferencias. La diferencia entre los satélites que se utilizan para retransmitir esta señal se debe a su capacidad, su aplicación, vegetación, meteorología, oceanografía y según su órbita, geoestacionario o heliosíncronos.

Los satélites geoestacionarios o geosíncronicos se desplazan alrededor de la órbita ecuatorial, aproximadamente a 35900 km. La velocidad orbital del satélite es la misma que la rotación de la Tierra 15° de longitud por hora (Sobrino, 2000).

La orbita de los satélites heliosíncronos se mantiene fijo en relación al plano orbital de La Tierra alrededor del Sol. La inclinación de la órbita es de casi 90°, es decir casi polar, por tanto la cobertura de la Tierra se extiende entre los dos polos. Realiza alrededor de 12 vueltas en un día (Sobrino, 2000).

La orbita de un satélite es una curva cerrada en el espacio después de la colocación del satélite por un lanzador. Las características dependen de los siguientes parámetros (fig. 5) (Sobrino, 2000):

- inclinación (i): “ángulo definido por la intersección del plano orbital y del plano ecuatorial terrestre” (Sobrino, 2000).
- nadir (n): vertical del satélite.
- periodo de revolución: tiempo empleado para dar una vuelta completa

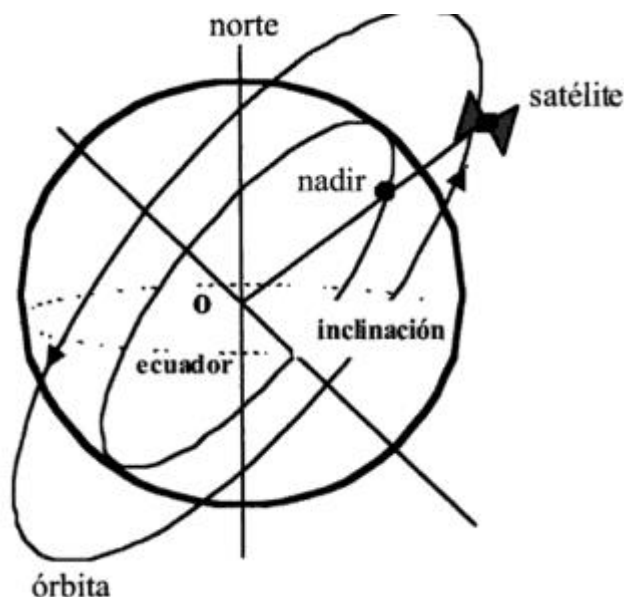


fig. 5 Características y parámetros orbitales

Fuente y elaboración: Sobrino, J., (2000), Teledetección. (1ra, ed.). Valencia, España: Guada Impresores.

Además que se convierten en satélites de baja, media y alta resolución por el tamaño de pixel.

2.4.1. Satélites de baja resolución.

La resolución debe su nombre principalmente a la resolución espacial que este posee, mientras más grande sea el espacio de análisis del objeto en un pixel, menor será su resolución. Por ser de baja resolución, a la mayoría de estos productos se los encuentra de manera gratuita. A continuación se menciona algunos satélites de baja resolución.

2.4.1.1. MeteoSat.

Este satélite está situado a 35800 Km de altitud donde corta el meridiano de Greenwich y el Ecuador. La velocidad de traslación coincide con la velocidad de rotación de la Tierra y por lo tanto es considerado como un satélite con órbita geostacionaria. El MeteoSat observa una misma zona que corresponde al Golfo de Guinea hasta 65° de latitud. Se recogen 3 imágenes cada media hora con los 3 sensores que lleva a bordo; el visible (VIS), infrarrojo térmico (IR), y el infrarrojo de vapor de agua (VA). Es un sensor con una resolución de 2,5 km * 2,5 km; por lo tanto es de baja resolución ya que el sensor es incapaz de distinguir un objeto de menor tamaño (MeteoSat, 2016).

2.4.1.2. NOAA.

El satélite NOAA opera en dos tipos de sistema satelital, el geostacionario y orbital. Los satélites geostacionarios monitorean el Hemisferio Occidental de alrededor de 22240 millas

sobre la Tierra, y los de órbita polar alrededor de la Tierra con 540 millas sobre la Tierra. Está compuesta por el sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*). La resolución de las imágenes NOAA es de 1 km * 1 km. La pasada del satélite es cada 24 horas, sin embargo se pueden obtener imágenes simultáneas por la pasada de otros satélites NOAA (NOAA, 2016). Son 16 satélites

2.4.1.3. Resurs - o1.

El satélite Resurs es una creación del ministerio de defensa de la URSS (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas), para observar los recursos naturales de la Tierra. Sin embargo el fin fue superar a la serie Landsat creada por Estados Unidos. Este satélite tiene una órbita casi circular sincronizada con el sol, con una inclinación de 98°, y un periodo de 97 minutos. En el Resurs – o1 existen tres tipos de sensor que son: MSU-E (2), MSU-SK, MSU-S. El MSU – SK1, tiene una resolución moderada, sin embargo su ángulo de 39° permite un ángulo de visión para cada pixel. Está compuesto por 4 bandas espectrales con resolución diferente para cada una, la visible (VIS) tiene una resolución espacial de 210 m, la infrarroja térmica (ITR) tiene una resolución espacial de 700 km y las otras dos bandas adicionales de 240 m. (eoPortal Editorial Team, 2016).

2.4.1.4. SeaStar.

Este satélite orbita sobre la Tierra en un vehículo de lanzamiento Pegasus, sincronizado con el sol a 705 km, con un periodo orbital de 99 minutos. Este satélite tiene una resolución espacial de 1,1 km en tiempo real y 4,5 km para almacenamiento. Lleva el sensor SeaWiFS, que consiste en un escáner óptico y un módulo electrónico, que posee 8 bandas con las longitudes de onda centrales y anchuras. El satélite realiza su pasada o revisita a diario (Ocean Color, 2016).

2.4.2. Satélites de mediana resolución.

2.4.2.1. Landsat 4 y 5.

Landsat 4 empezó a funcionar el 16 de julio de 1982 en un vehículo Delta 3925, lanzado desde la Base Vandenberg de la Fuerza Aérea (VAFB), el Landsat 5 comenzó el 1 de marzo de 1984. Landsat-4 y -5 fueron colocados en órbitas casi circulares heliosíncronas con una altitud de 705 km, inclinado 98.2°, y con revisita de 16 días. Estos satélites actualmente no se encuentran en funcionamiento, estuvieron en el espacio durante años; sin embargo en muchas ocasiones experimentaron anomalías y dejaron de funcionar por algún tiempo. El sensor que opera en el Landsat 4 y 5 es el TM diseñado y construido por el *Santa Barbara Research Center* (SBRC), este instrumento es considerado como un generador de imágenes de barrido óptico multispectral que opera en las regiones visible e infrarroja del espectro electromagnético (SME). Está compuesto por 7 bandas; las bandas 1, 2, 3 son

bandas que están dentro del espectro visible RGB (*Red, Blue, Green*), la banda 4 es el infrarrojo cercano, la 5 y 7 son el infrarrojo medio de onda corta, y la banda 6 el infrarrojo térmico (eoPortal Directory, 2016).

2.4.2.2. Landsat 7.

Landsat 7 fue lanzado el 15 de abril de 1999, en un vehículo delta 2 por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Este satélite tiene una órbita sincronizada con el sol a una altitud de 705 km, cubre todo el globo terrestre en 16 días con excepción de las latitudes polares, tiene un ángulo de inclinación de 98.9°. El sensor presente en este satélite es el ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*); que posee 8 bandas espectrales que incluyen la banda pancromática (banda 8) y la banda termal (banda 6). La banda pancromática es la banda con mayor resolución, tiene una resolución de 15 m mientras que la resolución de 60 m pertenece a la termal y los 30 m al resto de bandas (U.S. Department of the Interior, 2013).

2.4.2.3. Landsat 8.

El satélite Landsat 8 fue lanzado el 11 de febrero de 2013, su operación empezó el 11 de abril de 2013, sin embargo existen datos del sensor infrarrojo térmico (TIRS) desde la fecha de lanzamiento, y de datos completos por el instrumento OLI desde el 11 de abril de 2013. Tiene una resolución espacial de 30 m. para las bandas del visible, NIR, SWIR; 100 m. en la banda térmica y 15 m. en la pancromática, esta última produce una imagen muy realista de la escena y la película es en blanco y negro. Es posible cubrir toda la Tierra y obtener imágenes satelitales cada 16 días, sincronizado con Landsat 7 para que se obtengan imágenes satelitales pasado 8 días (U.S. Department of the Interior, 2016). Este satélite está compuesto por 11 bandas, incluye dos bandas nuevas en relación a Landsat 7, estas bandas son la banda uno representa un azul profundo utilizada para estudios costeros y aerosol, la banda 9 especializada en detección de cirrus; estas bandas nuevas creadas para medir la calidad del agua y facilitaran la detección de nubes altas y delgadas. La banda térmica se ha dividido en dos bandas infrarrojas térmicas (Landsat Science, 2016).

2.4.2.4 Interface Region Imaging Spectrograph (Iris) 1c y 1d.

El Iris 1d es uno de los primeros satélites lanzados en la India el 29 de septiembre de 1997, el 1c fue lanzado el 28 de diciembre de 1995. El sensor que opera es el LISS-3 como una cámara en el modo escaneo, el tamaño del pixel es de 23,5m; posee 4 bandas espectrales de 0,52 a 1,75 micras, se encuentra a 142 km. Las repeticiones o pasadas que realiza el satélite son cada 24 días (eoPortal Directory, 2016).

2.4.2.4. Spot 1-3.

Los primeros tres satélites Spot eran idénticos y poseían el sensor HRV (visible de alta resolución), tiene una banda pancromática con la resolución más baja de 10 m, y 3 bandas multiespectrales con resolución de 20 m, ofrece una visualización oblicua con inclinaciones de hasta $\pm 27^\circ$ desde el eje vertical del satélite. Por estas razones la revisita del satélite se acorta de 4 a 6 días (EOEdu coordination, 2016).

2.4.2.5. Spot 4.

Los dos instrumentos ópticos o sensores de este satélite son el HRVIR (*Visible & Infrared High-Resolution*). Este sensor es muy similar al de los satélites spot anteriores, se diferencia porque posee una banda espectral adicional para el infrarrojo medio, y por la banda pancromática que dejó de ser de 0,5 – 0,73 μm y es de 0,61 – 0,68 μm ; sin embargo conserva la misma resolución que los satélites anteriores, así como la visualización oblicua con inclinaciones de $\pm 27^\circ$ y la revisita de 4 a 6 días (EOEdu coordination, 2016).

2.4.2.5. Spot 5.

Este satélite es una mejora del anterior esta sincronizado con el sol y las repeticiones o visitas las realiza de 1 a 4 días, sin embargo se utiliza un instrumento HRS (*High-Resolution Stereoscopic*) que toma pares estéreo simultáneos, por lo que incrementa su resolución a 5 m en la banda pancromática y de 10 m para 3 bandas multiespectrales con la excepción de la banda multiespectral del infrarrojo cercano que posee una resolución de 20 m (EOEdu coordination, 2016).

2.4.2.6. Terra.

El lanzamiento de Terra se realizó el 18 de diciembre de 1999. La órbita es circular heliosincrónica, a una altura de 705 km, con una inclinación de $98,5^\circ$; y con 233 ciclos de repeticiones en 16 órbitas por día. El sensor de Terra es ASTER (espacial avanzado de emisiones y Reflection Radiometer) (EOEdu coordination, 2016).

2.4.3. Satélites de alta resolución.

Estos satélites proporcionan imágenes con una alta resolución espacial y temporal, la única dificultad de estos satélites es la obtención de los datos, puesto que son comerciales y sus costos son elevados. Sin embargo por ser comerciales se tiene la posibilidad de adaptar los datos de acuerdo a las necesidades del cliente. Para clientes con requerimientos de extensiones amplias (a escala nacional o regional) los precios son elevados, y en ciertas ocasiones esto obliga a adoptar por economía y por la gama extensa a los satélites de baja y mediana resolución.

2.4.3.1. Indian Remote Sensing Satellites (Irs) 1c Y 1D.

Este satélite fue lanzado el 28 de diciembre de 1995, los datos que genera este satélite son a través de un sensor PAN (*Panchromatic Camera*). Su órbita polar sincronizada con el Sol está a una altura de 817 km, una inclinación de 98,69° y un período de 101,23 min. Las dos naves espaciales completaron su misión 1c en 2007 y 1D en 2010; sin embargo siguen en funcionamiento gracias al equipo de operaciones que intervino para solucionar las limitaciones que presentaba en su potencia. El sensor PAN tiene una resolución de 6 m por pixel, conformado por una sola banda de 0,5 – 0,75 μm , 4096 pixeles en 70 km, y una característica final e importante que lo convierte en un satélite de alta resolución es que se obtienen imágenes cada 5 días (eoPortal Directory, 2016).

2.4.3.2. Cosmos.

El satélite orbita alrededor de la Tierra (órbita geosincronica), es decir tiene cierta inclinación, contiene un sensor o cámara KVR-1000, por lo que se convierte en un satélite de alta resolución, además de su banda pancromática. Se encuentra a una altura entre 160 – 270 km, con 70° de inclinación, posee una sola banda de 0,49 - 0,59 μm y una resolución de 2 – 3 m. No realiza revisitas o pasadas cada cierto tiempo y se obtienen los datos al final de cada misión (EOEdu coordination, 2016)

2.4.3.3. Earth Remote Observation System (Eros A1).

Es un satélite comercial que proporciona imágenes de alta resolución. Como se trata de un satélite comercial los servicios son de acuerdo al requerimiento del cliente, privacidad, exclusividad, capacidad, etc. Se lanzó el 25 de abril de 2006. Está formado por el sensor CCD, que proporciona una resolución de 1 m y posee una sola banda, este satélite se encuentra se encuentra a 12,5 km y realiza su pasada cada 3 días (eoPortal Directory, 2016).

2.4.3.4. Ikonos.

Un satélite que provee de imágenes satelitales de alta resolución a un determinado costo; pues este es comercial, además que pertenece a esta clasificación porque tiene una buena resolución espacial y temporal de 1m y 3 días respectivamente. Proporciona un campo visual de $\pm 30^\circ$, tiene una órbita heliosincrónica circular casi polar, a una altura de 681 a 709 km, cumple un ciclo de repeticiones de 1 a 3 días. Está compuesto por el sensor OSA (Optical Sensor Assembly) que capta las imágenes a través de una franja o imagen completa de 11 – 13 km. Está conformado por cuatro bandas espectrales, donde 3 se encuentran en el rango de visibles RGB, *Blue*, *Green*, *Red* y la NIR que pertenece al infrarrojo, invisible al ojo humano (eoPortal Directory, 2016).

2.4.3.5. Quickbird.

Satélite comercial que ofrece una resolución sumamente alta de 0,61 m en la banda pancromática y de 2,4 m de resolución en las otras 3 bandas. Fue lanzado el 18 de octubre de 2001, a la órbita heliosincrónica o circular a una altura de 450 km, revisita o pasada de 3 – 5 días (eoPortal Directory, 2016).

2.4.3.6. Orbview-3.

Es un mini satélite comercial de alta resolución, fue lanzado por una compañía privada el 26 de junio de 2003, tiene una órbita circular sincronizada con el Sol, a una altura de 470 km, realiza una pasada o revisita cada 3 días. Utiliza el sensor OHRIS (*OrbView High Resolution Imaging System*) que posee 1 banda pancromática y 4 bandas multiespectrales, con una resolución de 1 m y 4 m respectivamente (eoPortal Directory, 2016)

2.5. Corrección de imágenes satelitales

Se trata de los procesos necesarios que se deben seguir para recuperar datos o simplemente corregir errores generados por diferentes factores como cabeceo, alabeo, giro, altura, velocidad del satélite, sensor o por la rotación terrestre. Así como también problemas generados en el ambiente por los gases, aerosoles, vapor de agua (Chuvienco, 2006)

En estas correcciones se incluyen la posición geográfica que puede estar distorsionada, o simplemente para obtener valores de radiancia a través de los números digitales (ND) (Chuvienco, 2006).

2.5.1. Correcciones radiométricas.

Las correcciones radiométricas se basan principalmente en la transformación de los ND originales con los que se obtiene la imagen a radiancia. Estos ND, pueden ser tratados para corregir algunos errores producidos por el sensor, incluyendo las magnitudes físicas y errores producidos por clima. Para ello se realizan un proceso de correcciones atmosféricas.

Dentro de las correcciones radiométricas se incluye la restauración de líneas o píxeles perdidos, que se deben a los motivos anteriormente expuestos o problemas en los sensores. Para todos los errores existen algoritmos que ayudan a resolver este tipo de problemas, principalmente basados en los ND del vecino más cercano por correlación. Otro tipo de correcciones que se incluyen en esta división son las correcciones del bandeo de la imagen, que se produce principalmente por una mala calibración en los elementos (detectores) del sensor, pues alguno de estos se alteró y codifica la radiancia en ND distintos al resto (Chuvienco, 2006).

La detección de nubes es un tipo de corrección radiométrica (R., X., & F., 1996), a través de los sensores ópticos y térmicos las nubes son perfectamente detectables los valores específicos. Por lo tanto los datos que quedan cubiertos por las nubes no serán detectados. Por esta razón es preferible en muchos casos eliminar los píxeles que están cubiertos por las nubes y mediante alguna técnica o procedimiento obtener información para esa superficie (en la cual es considerada que no existen datos) (González Jaramillo, y otros, 2016).

Según Cracknell (1997), la forma más eficiente de discriminar nubes es a través de una interpretación visual, pero dependería exclusivamente del criterio que posea el intérprete. Otra técnica de discriminación se enfoca exclusivamente en la Teledetección, puesto que a través de algunos criterios, requerimientos, o mezclas espectrales o espaciales se puede separar un pixel nuboso, de un sano (Chuvieco, 2006). Una detección mucho más detallada es la propuesta por Saunders y Kriebel que corresponde a la aplicación de algoritmos múltiples basado en algunas pruebas realizadas pixel a pixel.

2.5.2. Correcciones geométricas.

Las correcciones geométricas se realizan con el fin de corregir las coordenadas en las imágenes, especialmente cuando se requiere hacer un análisis temporal; puesto que las imágenes que se obtienen en distintas fechas podrían presentar una variación en las coordenadas a pesar de pertenecer al mismo sitio, esto ocurre por las variaciones en la captura de información y movimiento del sensor o al cambiar de un sistema de referencia a otro. Para resolver este tipo de problemas se genera una serie de puntos de control en las dos imágenes en análisis.

Otra metodología que se emplea para las correcciones geométricas es a partir de modelos orbitales, basados principalmente en la ubicación geográfica del satélite, para posterior a esto relacionarlas con la coordenadas cartográficas de preferencia en la imagen (Chuvieco, 2006).

2.6. Análisis visual de imágenes satelitales

El análisis visual depende de la capacidad y conocimiento que tenga el usuario, puesto que para reconocer y distinguir las diferentes situaciones es necesario de experiencia en este ámbito.

Sin embargo en un análisis visual influyen situaciones diversas que dependen de la calidad de la imagen, definida por la capacidad del sensor, brillo, tamaño, textura, sombras, tiempo de adquisición, etc.

2.6.1. Combinación de falso color.

Depende de las características de las bandas que se utilicen para la combinación, la reacción es diferente en cada canal puesto que cada uno tiene la capacidad de percibir la señal en distinto rango. Existen diversos ejemplos de cómo utilizar las combinaciones dependiendo del análisis que se desee hacer. Por ejemplo un pixel se visualizará en color rojo con la mayor intensidad que exista en el IRC y menor intensidad en el R y V. Las combinaciones de color son importantes porque permiten realizar una clasificación del tipo de cubierta que existe (Chuvienco, 2006).

2.6.2. Análisis multi – temporal.

El análisis multi - temporal centra su estudio y es requerido para dos propósitos, el primero es utilizar los pixeles de una imagen pasada en una actual para remplazar datos que quizás son erróneos o simplemente no existen en la imagen. Por ejemplo el caso en que un sector en análisis de la imagen se encuentre cubierto por nubes. El segundo se trata del análisis de las variaciones, alteraciones o cambios producidos por algunos fenómenos, como por ejemplo un incendio forestal.

Un análisis temporal es muy importante para constatar los cambios y efectos a través del tiempo, es posible establecer la rapidez, y la prevalencia de un fenómeno, es decir cómo se comporta a través del tiempo (duración de la señal). En un análisis temporal es necesario tener una homogeneidad en la adquisición de las imágenes por el sensor, homogeneidad en altura, ángulo, hora, etc. (Chuvienco, 2006). Las correcciones geométricas y radiométricas se realizan con el fin de evitar distorsiones y asegurar que el análisis se realiza al mismo sitio en las dos imágenes. Por lo tanto se obtendrá los datos reales del cambio producido en la superficie terrestre.

2.7. Clasificación de las imágenes

Se denomina clasificación a la distribución y asignación de categorías que existen en la imagen. Las diferencias entre clases deben ser notoria a través de su color, aunque específicamente depende del algoritmo que se utilice, es decir asignar las condiciones de distancia mínima para pertenecer a un grupo u otro. Una de las principales características de la clasificación es que sea de fácil uso, para otros usuarios, es decir que no dependa únicamente del criterio del intérprete (Chuvienco, 2008). En una clasificación en general no es posible asegurar que a cada grupo le corresponde una asignación espectral distinta, por tal razón es posible que una categoría de cubierta este clasificada dentro de dos grupos.

Una clasificación se basa en el flujo energético que recibe y la capacidad que posee cada banda para receptarlo, sin embargo no siempre es posible separar una clase de otra, debido

a que su comportamiento energético tiende a ser igual. La clasificación de imágenes por lo general se divide en supervisada y no supervisada.

Entre la clasificación supervisada y no supervisada no se puede definir cuál de estas es mejor. Puesto que el método supervisado según Chuvieco (2006) puede denominarse como artificial y subjetivo, por forzar el algoritmo de discriminación al conocimiento del autor o apariencia de la imagen y no a un rango espectral adecuado, mientras que el método no supervisado proporciona resultados de difícil interpretación y sin ninguna intervención del usuario, es decir no es posible suplir las necesidades del usuario.

2.7.1. Clasificación supervisada.

En una clasificación supervisada es necesario del conocimiento del analista. Este conocimiento puede ser de la experiencia o por que se realizó un reconocimiento del terreno. Se parte de una asignación a diferentes grupos, a partir de estos grupos, la selección es automática y se reconocerán dentro de la clasificación a los píxeles que posean semejanza en la energía que transmiten dichos grupos. Una de las alternativas para la clasificación supervisada es la asignación de clases según los píxeles semillas y basados en una distancia mínima espectral. Para una asignación de calidad y con más detalle se recurre a la utilización de un radiómetro para realizar un levantamiento de información en el campo.

2.7.2. Clasificación no supervisada.

El método define las clases de manera automática y las agrupa de acuerdo a las mezclas espectrales presentes en la imagen. No es necesario del conocimiento que posea el usuario o de realizar un levantamiento de información en el terreno, únicamente el usuario interviene en la interpretación de resultados. Para la delimitación de los grupos existen varias características a considerar entre ellas se encuentra la distancia mínima de clasificación, para determinar tal distancia se recurre a varias metodologías, entre las cuales tenemos la distancia euclidiana, distancia media, o la distancia de Mahalanobis (Chuvieco, 2006). Para la agrupación de clases se recurre al algoritmo que mejor se ajuste a los datos o el que decida utilizar el usuario; existen muchos algoritmos desarrollados en base a las necesidades de cada usuario o modificados para centrarse en el estudio de un fenómeno o clasificación en concreto. Algunos de estos métodos son: ISODATA, Clasificador de máxima verosimilitud (MVS), *Sequential maximum a posteriori* (SMAP), Clasificador perceptrón multicapa (PMC) (García Mora & Mas, 2008).

2.7.3. Método mixto.

Es una mezcla de la clasificación supervisada y no supervisada con la finalidad de contrarrestar las desventajas del uno con las ventajas del otro. Se parte de una clasificación supervisada, es decir a partir de los conocimientos, esencialmente del terreno. El usuario se

orienta para partir con la clasificación de al menos un grupo espectral y los demás se asignen con una clasificación no supervisada. También es posible la combinación de estos métodos, aplicándolos de manera separada a la misma imagen y obtener los valores espectrales para luego sintetizarlo en un solo resultado (Chuvieco, 2006). Existen algoritmos que ayudan a sintetizar estos valores.

2.8. Análisis estadístico

Un análisis estadístico es indispensable para revisar el comportamiento de las categorías y que sea posible su clasificación, minimizando errores. La función principal es la asignación de la clase según los píxeles extraídos, en base a los valores que se extraen es posible conocer el comportamiento radiométrico y con la aplicación de criterios estadísticos determinar las fronteras de cada clase.

Estadísticamente los criterios más utilizados para establecer una frontera entre clases son los siguientes: mínima distancia, paralelepípedos, máxima probabilidad, ventana móvil dividida (Chuvieco, 2006; Camarero y Fortin, 2006).

Antes de utilizar una metodología para la separación de clases es necesario verificar que exista separabilidad entre los datos que se analizan. Para esto existen criterios cuantitativos para discriminar numéricamente dos categorías diferentes. De los más populares y sencillos esta la distancia normalizada.

2.8.1. Distancia normalizada.

Consiste en la comparación de dos categorías o individuos (Opazo & Chuvieco, 2009). Se calcula con la diferencia absoluta entre medias de dos categorías o individuos sobre la suma de la desviación típica, según la siguiente fórmula:

$$DN = \frac{|X_2 - X_1|}{S_2 + S_1} \quad (11)$$

Dónde:

DN: Distancia normalizada

X2: Media de la categoría A

X1: Media de la categoría B

S2: Desviación típica A

S1: Desviación típica B.

2.8.2. Mínima distancia.

La mínima distancia es un método clasificado como de máxima probabilidad aunque es el método de menor precisión. Sin embargo es un método muy utilizado en teledetección por su simplicidad matemática. Este método permite asignar una categoría con respecto al pixel más cercano, su ecuación se basa principalmente en la asignación de acuerdo a la mínima distancia entre el pixel y el centroide de la clase más cercana. El centroide asignado para cada clase corresponde a la media aritmética u otro parámetro estadístico del valor central o medio de la clase. Para evitar confusiones es importante señalar que no se habla de una distancia en metros o geográfica entre pixeles sino de una distancia espectral a través de la extracción de los valores radiométricos de cada pixel. La efectividad del método depende del criterio de distancia adoptado por el usuario. Generalmente se combinan la distancia euclidiana con factores estadísticos como varianza o dispersión, por ejemplo la distancia de Mahalanobis. Una de las ventajas de utilizar distancia mínima es la inexistencia de zonas críticas por lo tanto siempre habrá una clase más próxima al punto de asignación (Gandia & Meliá, 1991; Chuvieco, 2007); (Chuvieco, 2006). La distancia euclidiana, se representa según la siguiente ecuación:

$$d_{x,A} = \sqrt{\sum (ND_{x,i} - \overline{ND}_{A,i})^2} \quad (12)$$

Dónde:

$d_{x,A}$: Distancia entre pixeles x y la categoría A

$ND_{x,i}$: Valor del pixel a clasificar de la banda i

$\overline{ND}_{A,i}$: Valor medio de la categoría en la misma banda

2.8.3. Métodos no paramétricos.

Para realizar la clasificación de una imagen a través de los métodos anteriormente expuestos es necesario conocer los parámetros de cada categoría o distribución. Razón por la cual se denomina métodos paramétricos, “una de las ventajas de los métodos paramétricos es la simplicidad matemática, así como el espacio de almacenamiento reducido” (Gandia & Meliá, 1991), puesto que se requiere almacenar un número limitado de datos. Entre las dificultades que presentan los métodos paramétricos, se encuentra la elección del modelo de distribución matemático de los pixeles a cada clase. La elección del modelo matemático depende del que mejor ajuste de mínimos cuadrados genere a la distribución normal (Gandia & Meliá, 1991). Para generar confianza en los intervalos es necesario comprobar que los datos siguen una distribución normal (Gandia & Meliá, 1991).

Por todas las razones anteriormente expuestas se hace necesaria la utilización de métodos no paramétricos que permiten trabajar con la distribución completa de datos. Como regla general de estos métodos se señala que la clasificación se hace posible si el dato clasificado como clase i se halla en la región (Gandia & Meliá, 1991):

$$P(\vec{x}|G_i) > P(\vec{x}|G_k) \quad (13)$$

Para el cálculo de $P(\vec{x}|G_i)$ se aplican algunos algoritmos como: método del histograma, prueba de Pearson, prueba de coeficiente Kappa, prueba Kolmogorov – Smirnov, prueba de Mann Whitney o prueba de Wilcoxon, prueba de los signos, prueba de Kruskal – Wallis, etc (Gandia & Meliá, 1991).

2.9. Incendios forestales

2.9.1. Definición.

Se denomina incendio forestal a la propagación de fuego a través de una cobertura vegetal. Esto causa muchas afecciones al suelo, vegetación, bosque, seres humanos, animales, y todo lo que encuentre a su paso. En muchas ocasiones los incendios forestales son producto de los fenómenos naturales que ocurren, como rayos o tormentas eléctricas y por las erupciones volcánicas, o en la mayoría de los casos por medios artificiales, es decir, causados por el hombre (Castillo, Pedernera, & Peña, 2003).

2.9.2. Causas de incendios forestales.

Las causas que generan un incendio forestal son extensas, sin embargo el principal causante es el ser humano, que a través de medios artificiales origina de manera directa o indirecta que ocurra este fenómeno. De manera sintetizada a continuación se señalan algunas causas:

- Susceptibilidad de la vegetación a la ignición y propagación del fuego (Castillo, Pedernera, & Peña, 2003).
- El clima es una de las principales influencias, pues la mayor parte de los incendios se producen en temporada seca y por la sequía, que en muchas ocasiones se da luego de un periodo extendido del fenómeno de El Niño (Villers Ruiz & López Blanco, 2004).
- Los desechos generados por el ser humano, como botellas de vidrio, que pueden ocasionar un fenómeno poco usual, puesto que sería efectivo si se produce en una vegetación completamente seca y se debe a que el vidrio absorbe el calor producido por los rayos del sol.
- El cambio de cultivo, influenciado también por el ser humano, puesto que se realizan quemas agrícolas para aprovechar la temporada seca.
- Pirómanos, que utilizan medios artificiales como: cigarrillos, gasolina, entre otros.

2.9.3. Efectos de incendios forestales.

Al igual que las causas los efectos son muchos, ya que no únicamente tiene un impacto en la zona afectada, sino que también produce daños y afectaciones a los ecosistemas, al ser humano, la flora, la fauna, y el planeta en general por los gases de combustión que origina.

- Uno de los efectos más desfavorable es el impacto en el medio ambiente, por los cambios climáticos que esto origina, por ejemplo aumento de la temperatura promedio, sequías e inundaciones, etc. (Castillo, Pedernera, & Peña, 2003)
- Los gases emitidos por los incendios forestales como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido nítrico, metano, entre otros; que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono (Castillo, Pedernera, & Peña, 2003).
- La pérdida de bosques y por ende la disminución en la captura de Co₂ y producción de oxígeno.

2.9.4. Incendios forestales en el Ecuador.

Según el Ministerio del Ambiente – Ecuador (MAE) (2016), los incendios forestales son causados por desechos sólidos, físicos, químicos y biológicos que produce el ser humano como consecuencia de las actividades económicas que realiza, y que son regados por el medio ambiente. Durante invierno en Ecuador es cuando se observa la mayor recurrencia de incendios forestales; en septiembre de 2015 se produjo una serie de eventos de este tipo en Quito, justo cuando se encontraban en temporada seca. La magnitud de los incendios fue considerable, debido a que hubo destrucción de bosques y de la fauna que habita en estos. Se consideró como una verdadera emergencia y fueron catalogados como los peores eventos de la temporada puesto que además se perdieron vidas humanas y hubo personas que quedaron afectadas físicamente.

2.9.5. Incendios forestales en la provincia de Loja.

Según los reportes de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), esta provincia de la Sierra todos los años reporta incrementos de incendios forestales en muchos de sus cantones. En 1985 Loja y Zamora Chinchipe sufrieron uno de los mayores eventos de este tipo, catalogado de esta manera debido a que fue producido en el Parque Nacional Podocarpus y destruyó alrededor de 800 ha de terreno. Además en el parque existen especies tanto de flora como de fauna que pudieron ser afectadas por el incendio (MAE, 2005).

2.9.6. Incendios forestales en la provincia de Zamora Chinchipe.

Los incendios forestales en la provincia amazónica tienen una incidencia bastante baja en comparación al resto de provincias, el reporte por parte de las entidades públicas oficiales

encargadas de inventariar los daños producidos muestran áreas relativamente pequeñas consumidas por el fuego.

2.9.7. Incendios forestales en la provincia de El Oro.

Según los reportes de la SGR, en esta provincia de la costa no se producen estos eventos con mucha frecuencia, sin embargo son de gran magnitud y consumen grandes hectáreas de bosque. En esta provincia los principales sectores afectados son las partes más altas, por ejemplo el cerro Chilla, Atahualpa y Zaruma. Los factores que influyen para que estos cerros sean consumidos rápidamente por el fuego es la incidencia de la radiación solar y los vientos; razón por la cual los bosques son consumidos mucho más rápido.

2.9.8. La combustión e inflamabilidad contribuyentes en un incendio forestal.

Un incendio forestal depende del tipo de cobertura vegetal existente en el sitio, de acuerdo a la humedad del combustible que posee cada planta es posible evaluar el impacto que generara dicho bosque. Puesto que existe mucha humedad habrá una extinción y no una contribución. También es una de las razones por las que un incendio es difícil que se produzca en bosque húmedo y en temporada de invierno.

Un combustible es el generador de la combustión, por tal razón según Wong González y Villers Ruiz (2007) todo material denominado como combustible es capaz de inflamarse. La inflamabilidad depende de la humedad de la especie, puesto que el combustible vivo o muerto tiene igual impacto. Es casi imposible que un combustible se inflame en condiciones húmedas, a menos que se intervenga de forma artificial y se añada combustión a través de sustancias químicas. La forma y el tamaño del combustible tienen influencia directa en la inflamabilidad, puesto que mientras más pequeño y menos robusto sea el material, más pronto ardera (Wong González & Villers Ruíz, 2007).

La inflamabilidad de los combustibles vegetales también depende de los fenómenos naturales, como el clima, temperatura, radiación solar, humedad del aire, etc.

**CAPÍTULO 3:
ÁREA DE ESTUDIO**

3.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio corresponde al sur del Ecuador, conformada por las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y el Oro (como se muestra en la Figura 6).

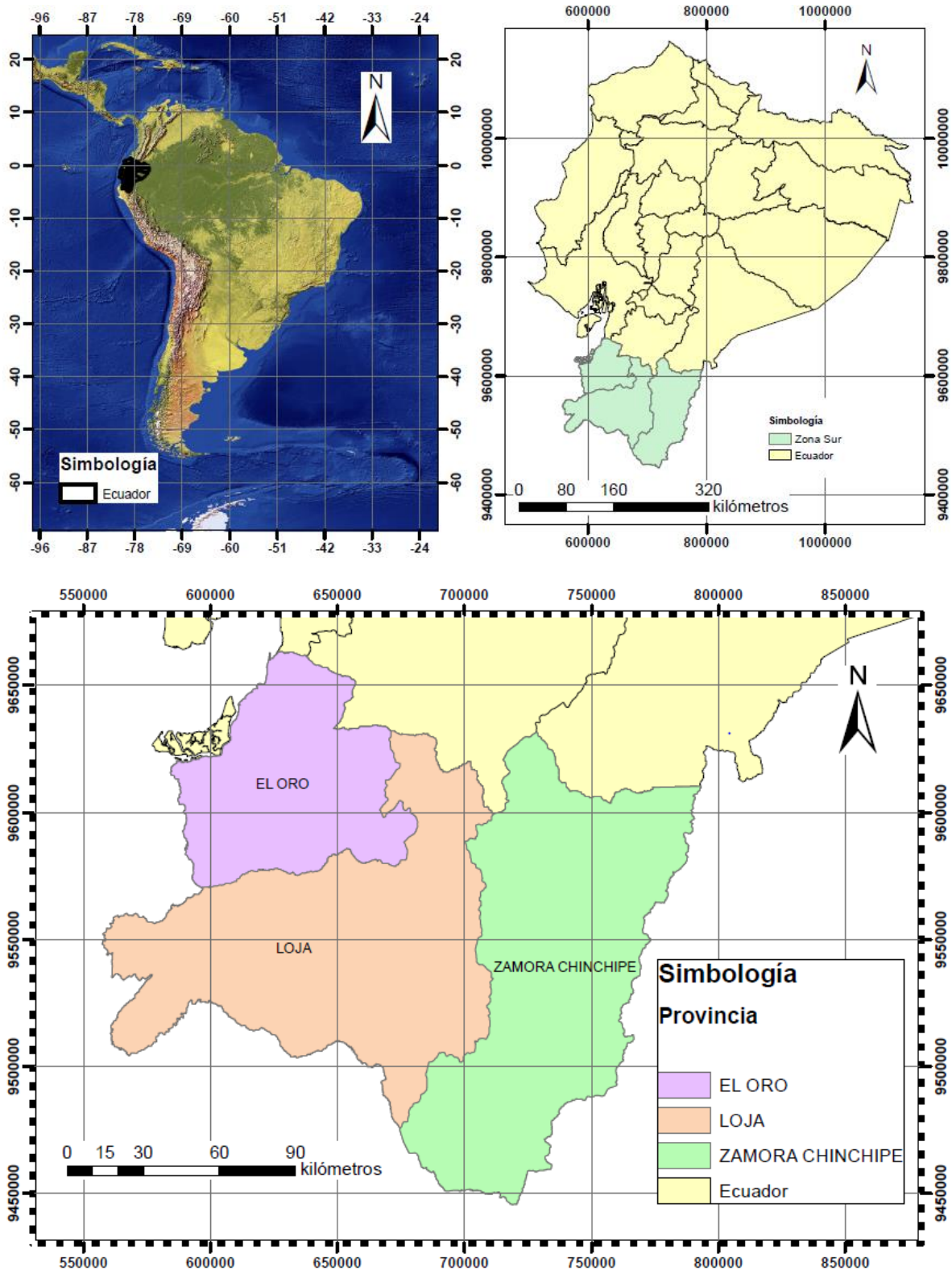


fig. 6 Ubicación de la zona de estudio, provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

3.1.1. Loja.

La provincia de Loja está ubicada al Sur del Ecuador, es una de las provincias que pertenece a la región Sierra, limita con las provincias de Zamora Chinchipe al oeste, con la provincia de El Oro al este, con la provincia del Azuay al norte y al sur con la República del Perú. Conjuntamente con las dos primeras provincias limítrofes mencionadas compone la región sur del Ecuador (INERHI-PREDESUR-CONADE, 1994).

Sus coordenadas Geográficas son 3°49`59 S y 80°04`01 O.

La provincia de Loja está compuesta por 16 cantones:

- Calvas
- Catamayo
- Celica
- Chaguarpamba
- Espindola
- Gonzanamá
- Loja
- Macará
- Olmedo
- Paltas
- Pindal
- Puyango
- Quilanga
- Saraguro
- Sozoranga
- Zapotillo

3.1.1.1. Topografía

La topografía es muy variada en de toda la provincia, es decir su relieve es irregular. Las alturas van desde los 700 msnm. hasta 3800 msnm. Entre las cordilleras que atraviesan Loja están, Tambo Blanco, San José, La Paz, Los altos, Sharac, Pan de Azúcar, Villonaco, etc (Instituto Geográfico Militar, 2006). La fig. 7 muestra un mapa topográfico de la provincia de Loja.

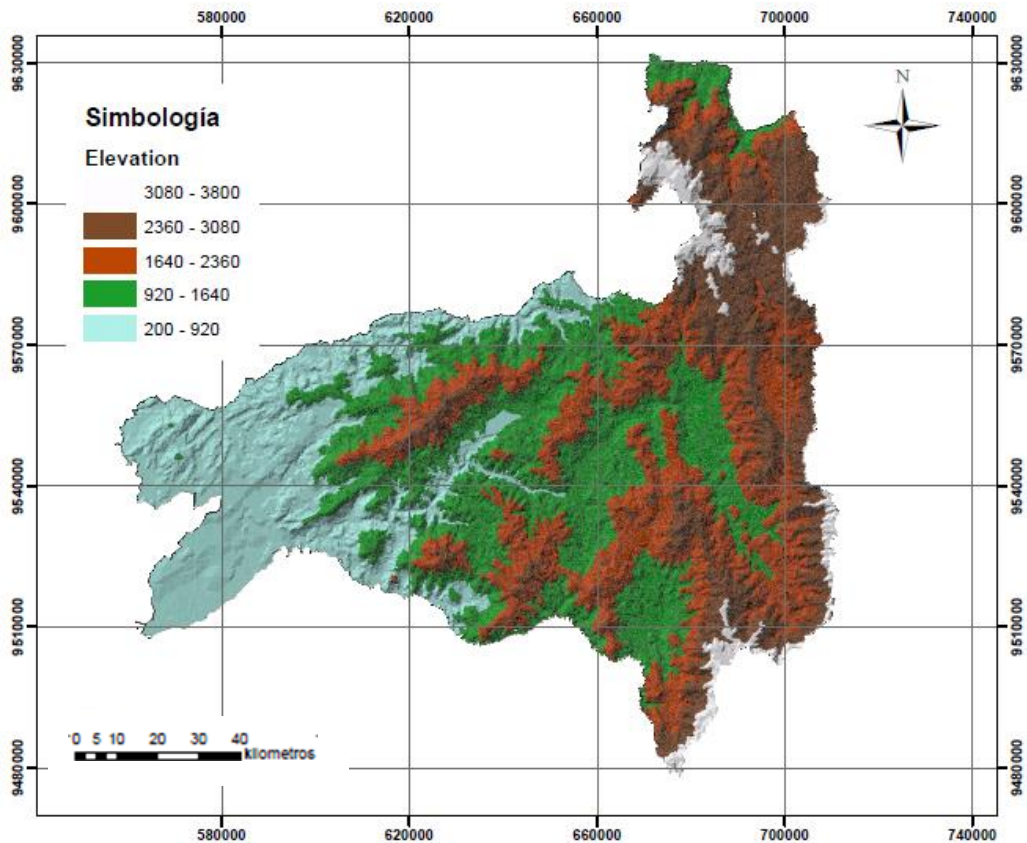


fig. 7 Mapa topográfico de la provincia de Loja.
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

3.1.1.2. Clima

El clima de Loja es muy diverso. A Loja se la denominada como una provincia temperada subhúmeda. Normalmente durante todo el año las temperaturas más bajas se experimentan en la noche, siendo el día bastante cálido. De acuerdo a la temperatura el clima de Loja varía desde tropical seco (cantones Zapotillo, Catamayo, Pindal, Macará, a Subtropical, clima temperado, subtemperado y frío (cantón Saraguro) (INERHI-PREDESUR-CONADE, 1994).

3.1.1.3. Vegetación

Entre las coberturas vegetales de las que dispone la provincia de Loja se encuentra los bosques montanos bajos, bosques húmedos montanos, divididos en bosques primarios, secundarios, también existen cultivos, pastizales y especies propias del lugar como alisos, molles, arrayanes, etc.

3.1.2. Zamora Chinchipe.

Es una de las provincias del Ecuador ubicada en el sur – oriente de la Amazonia pertenece a la región sur del Ecuador (Gobierno provincial de Zamora chinchipe), limita con la provincia de Loja al oeste, con la provincia de Morona Santiago al norte; y con la República

del Perú al sur y este. Sus coordenadas geográficas son 2°53`00 S y 79°00`00 O, y está constituida por 9 cantones (Gobierno provincial de Zamora chinchipe):

- Zamora
- Chichipe
- Palanda
- Centinela del Cóndor
- Yantzaza
- El Pangui
- Yacuambi
- Nagaritza
- Paquisha

3.1.2.1 Topografía

Posee un relieve bastante accidentada como se muestra en la fig. 8, con zonas montañosas que dan origen a los ríos secundarios que son los principales contribuyentes del río Zamora. La altitud esta entre los 871 msnm. y 2600 msnm. Las cordilleras que originan esta orografía son Tzunantza, Nambija, Cayuma, El Cóndor, etc. (Instituto Geográfico Militar, 2006).

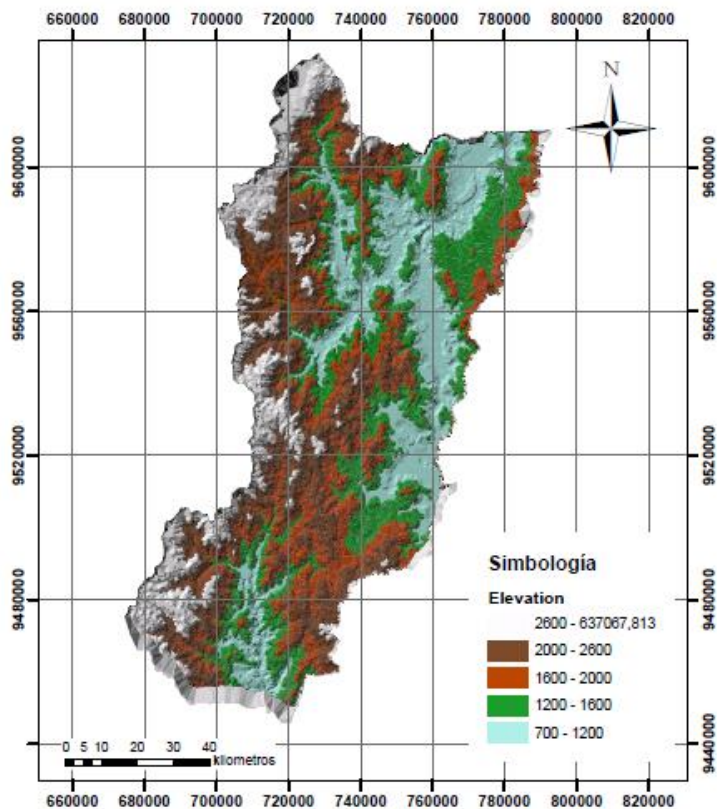


fig. 8 Mapa topográfico de la provincia de Zamora Chinchipe.
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

3.1.2.2 Clima

El clima es tropical húmedo porque es una provincia amazónica en la que todos los días del año existen lluvias.

Alcanza una temperatura máxima de hasta 38°C, sin embargo su temperatura media está alrededor de los 22°C (Gobierno provincial de Zamora chinchipe).

3.1.2.3 Vegetación

Es una provincia muy diversa en flora y fauna, la vegetación predominante son los bosques tropicales primarios. Esta provincia es uniforme en casi todo su territorio con excepción de Palanda en donde las lluvias son menos recurrentes. El tipo de cobertura vegetal de esta provincia es: arbustal siempre verde y herbazal del páramo, arbustal siempre verde y herbazal de la Cordillera del Cóndor, bosque siempre verde pie montano, bosque siempre verde de montano, etc. (Gobierno provincial de Zamora chinchipe).

3.1.3. El Oro.

Es una de las provincias del Ecuador que forma parte de la región Costa o Litoral. Limita el norte con la provincia de Azuay y Guayas, al sur y este con la provincia de Loja, y al oeste con la República del Perú (Gobierno Provincial de El Oro, 2015).

Las coordenadas geográficas de El Oro son 3°16'00` S y 79°58'00. La provincia de El Oro tiene 14 cantones que la componen (Gobierno Provincial de El Oro, 2015):

- Arenillas
- Atahualpa
- Balsas
- Chilla
- El Guabo
- Huaquillas
- Las Lajas
- Machala
- Marcabelí
- Pasaje
- Piñas
- Portovelo
- Santa Rosa
- Zaruma

3.1.3.1 Topografía

Una topografía bastante variada (fig. 9) desde zonas bajas por su cercanía al Océano Pacífico hasta zonas montañosas como la cordillera del cantón Chilla.

El Oro tiene bastante diversidad de relieves que marcan el tipo de clima en cada zona, pueden ser definidas como un relieve montañoso subtropical, zonas frías, zonas templadas (Gobierno Provincial de El Oro, 2015).

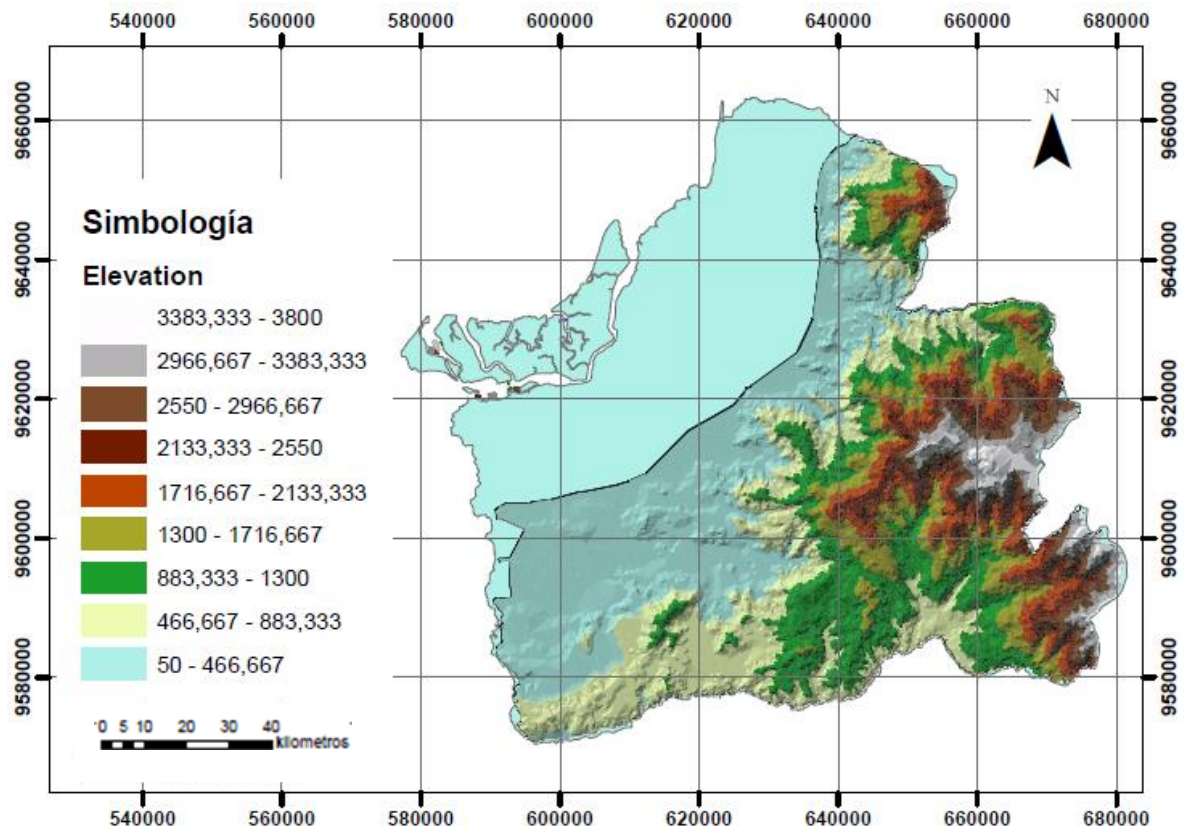


fig. 9 Mapa topográfico de la provincia de El Oro

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.1.3.2 Clima

El clima depende de la ubicación geográfica debido a que la provincia se encuentra atravesada por la región costanera y la cordillera de Chilla. El clima para los sitios ubicados en las partes bajas es húmedo seco, y cálido húmedo cercano al golfo de Guayaquil. Entre la parte alta y baja hay un clima variado que va desde subtropical húmedo hasta templado y subandino. En las partes altas como es de esperarse existe un clima frío andino (Gobierno Provincial de El Oro, 2015).

3.1.3.3 Vegetación

En esta provincia son predominantes los árboles nativos como el cedro, guayacán, canelo, achupalla, etc. y otros como el pino, eucalipto, y los árboles frutales. La cobertura vegetal es diversa, posee bosques de manglares, bosques semideciduo de tierras bajas, bosque siempre verde estacional piemontano, etc (Gobierno Provincial de El Oro, 2015).

CAPÍTULO 4:
DATOS / MATERIALES

4.1. Datos

Luego del análisis de los datos satelitales disponibles, el costo, la resolución espacial y la resolución temporal se ha considerado oportuno el uso de los datos provenientes de la plataforma Landsat. A continuación se listan las fuentes de información para la obtención de los datos Landsat. También se mencionan los datos recabados para inventariar los incendios forestales y las imágenes satelitales.

4.1.1. Land Cover.

El *Global Land Cover Facility (GLCF)*, se dedica a proporcionar datos satelitales de manera gratuita a través de una plataforma electrónica denominada Earth Science Data Interface (ESDI). El acceso no requiere de un usuario o contraseña, únicamente se debe conocer los datos de la zona como por ejemplo el path row y la fecha de la imagen o al menos una fecha cercana, puesto que los satélites no revisitan diariamente la misma zona (disponible en <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>).

4.1.2. Earth explorer.

Es un proyecto conjunto entre el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, para proporcionar información a través de los datos recogidos por estas entidades como aporte educativo para todo el mundo. El creador de esta plataforma web en la que se puede descargar de manera gratuita los datos es el USGS (disponible en <http://earthexplorer.usgs.gov/>).

En la plataforma web es posible obtener las imágenes satelitales de acuerdo al path row, con las coordenadas del sitio o por medio de una herramienta de selección. Para la descarga de datos más completos es necesario crear un usuario y contraseña. La plataforma web se encuentra en constante mantenimiento y actualización. También en la plataforma web es posible adicionar algunos criterios de acuerdo a la necesidad del usuario, como por ejemplo el porcentaje de nubes presentes en la imagen (U.S. Department of the Interior, 2016).

4.1.3. Inventario de incendios forestales.

En la presente investigación el inventario se usa para asociar la fecha de ocurrencia de los incendios forestales con la disponibilidad de imágenes satelitales. Por lo general el levantamiento de la información lo realizan las instituciones públicas encargadas de inventariar los daños producidos en la vegetación por estos fenómenos. Por lo tanto se recurrió a la información oficial que dispone la SGR. Sin embargo es importante recalcar que la información con que se dispone es una aproximación ya que no se han realizado levantamientos para delimitar las zonas del terreno afectado. Este inventario de incendios forestales cuenta con un registro de 15 años para la provincia de Loja y de 5 años para la

provincia de Zamora Chinchipe y El Oro. Sin embargo los datos obtenidos para Loja desde el año 2000 hasta 2015 fueron obtenidos del diario la Hora, un medio de comunicación impreso que circula en la provincia y ciudad de Loja.

A continuación en la tabla 6 se muestran los periodos y las fuentes de donde se han obtenido los datos.

Tabla 6 Inventario de incendios forestales

Provincia	Año	Registros
Loja	2000	Ministerio del Medio Ambiente y Diario la
Loja	2001 - 2009	Hora
Loja	2010 - 2015	Diario "La Hora"
El Oro	2010 - 2015	SGR
Zamora Chinchipe	2010 - 2015	SGR
		SGR

Fuente: Especificadas en el inventario
Elaborado: El autor

Se han inventariado los incendios forestales superiores a 20 ha para todos los años. El registro contiene más de 200 incendios forestales durante los 15 años de estudio (fig. 10). Para la aplicación de la metodología y reconocimiento de daños se decidió extraer una muestra de incendios grandes (500 - >1000 ha), incendios medianos (60 - 500 ha) y pequeños (20 - 50 ha). En muchos casos no existe información disponible de la superficie en has afectadas por el incendio, por lo tanto se las ha clasificado como sin información (S.I). Se obtiene de esta manera una muestra de incendios grandes, medianos, pequeños y sin información, como se puede observar en fig. 11.

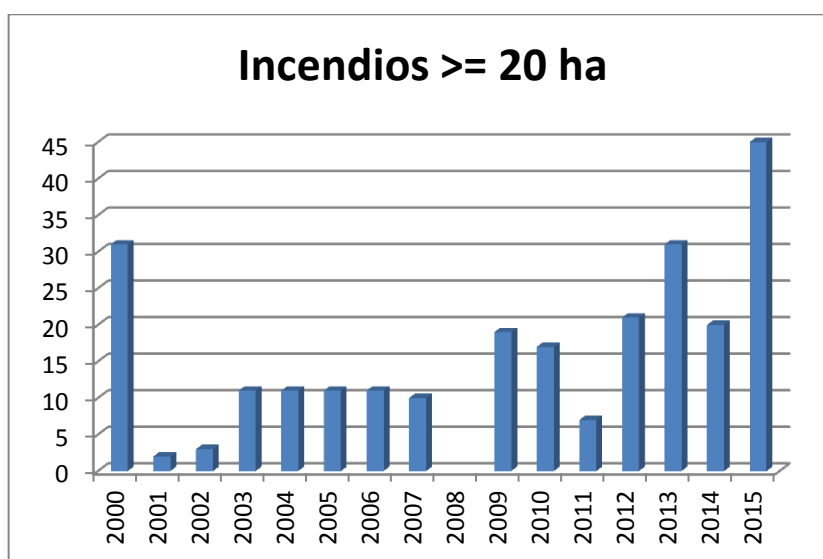


fig. 10 Incendios forestales de la zona sur del Ecuador mayores a 20 ha.
Elaboración: El autor

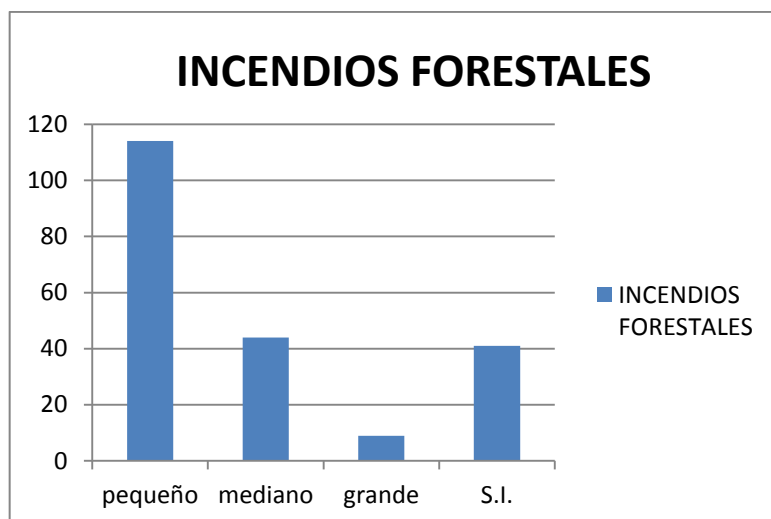


fig. 11 Clasificación de incendios forestales de acuerdo a las hectáreas afectadas.
Elaboración: El autor

4.1.4. Inventario de imágenes satelitales.

El inventario de las imágenes satelitales se realiza de acuerdo al registro disponible de eventos. La obtención de los datos del satélite Landsat para una fecha específica donde ha ocurrido un incendio se dificulta puesto que el satélite realiza su pasada cada 16 días. Este periodo de días se incrementa cuando las imágenes se encuentran cubiertas completamente por nubes. Se ha considerado para el estudio imágenes satelitales con una cobertura máxima de un 40% de nubosidad. En las figura 12a y 12b se puede apreciar imágenes Landsat para el área de estudio. La fig. 12b posee una cobertura del 40% de nubes.



fig. 12 a) Imagen satelital cubierta con el 10% de nubes y b) Imagen satelital cubierta con 40% de nubes.

Fuente: U.S. Department of the Interior. (27 de Noviembre de 2013). U.S. Geological Survey.
Obtenido de U.S. Geological Survey: <http://landsat.usgs.gov>
Elaborado: El autor

4.1.5. Precipitación.

Se dispone de datos de precipitación diaria desde el año 2000 a 2015 de las estaciones meteorológicas de la zona sur del Ecuador, proporcionadas por el INAHMI. En la tabla 7 se muestran las estaciones meteorológicas utilizadas.

Tabla 7 Nombre de las estaciones metereologicas

x	y	Nombre
658356,00	9577299,78	El Prado
645224,46	9627872,71	El Porvenir
680546,42	9549584,61	El Tambo
675404,12	9532320,06	Gonzanama
620505,69	9636145,41	Granja
670274,10	9488265,58	Jimbura
604278,44	9580745,06	Las Lajas
637817,32	9561300,27	Lauro Guerrero
639602,48	9579509,59	Amarillos
617064,86	9516927,80	Macara
580537,85	9552094,87	Mangahurquillo
686967,34	9599088,09	Mater
612704,85	9555653,31	Mercadillo
673838,70	9542164,64	Nambacola
673924,44	9542164,16	Nambacola_col
625305,85	9569210,71	Orianga
580711,44	9539535,61	Paletillas
599547,40	9595189,84	Palmes
644065,53	9593507,67	Piñas
604450,78	9544728,81	Pozul
677378,25	9525122,21	Quilanga
695046,03	9523037,57	Quinara
672504,08	9605195,58	Sabadel
634395,14	9521872,02	Sabanilla
632014,98	9517852,61	Sabiango
714074,79	9561615,10	San Francisco
693085,96	9587311,43	San Lucas
637682,50	9574444,98	Santa Rufina
696352,33	9600544,72	Saraguro
588930,28	9526784,04	Saucillo
634395,14	9521872,02	Sozoranga
610843,14	9598955,09	Tahuin
551324,59	9836471,24	Ushcurrumi
702518,83	9516958,89	Yangana
585173,03	9524260,67	Zapotillo
654194,71	9591185,89	Zaruma
608183,61	9555437,71	Alamor

674106,43	9493048,95	Amaluza
646729,56	9600690,44	Ayapamba
630631,53	9584036,69	Balsas
683307,48	9542329,74	Cajanuma
565457,59	9549435,68	Cañaverál
642635,09	9585831,78	Capiro
660426,64	9520868,21	Cariamanga
650478,14	9551575,12	Catacocha
684472,45	9601765,08	Celen
616439,62	9546254,55	Celica
589093,97	9607722,07	Chacras
683307,48	9542329,74	El Cisne
693085,96	9587311,43	San Lucas
658356,00	9577299,78	El Prado
650686,69	9585269,89	El salado

Fuente: INAMHI, 2016

Elaborado: El autor

4.2. Software

Para el procesamiento de los datos se ha usado las siguientes herramientas, que brindan funcionalidades con datos geoespaciales en formato raster y vectorial.

4.2.1. Idrisi (v.17.0)

Se basa en el análisis de imágenes raster. Las funcionalidades más destacadas que ofrece este software y que son de suma ayuda en esta investigación, son el análisis, procesamiento, mejoramiento y clasificación de imágenes satelitales. El software posee una interfaz de fácil acceso en la que es posible realizar las correcciones radiométricas, geométricas, detección de nubes, diferencia de bandas espectrales, determinación del NDVI, NBR y la aplicación de máscaras.

4.2.2. Gvsig (v.1.11)

Este software es de uso libre, soportado por una asociación de profesionales dedicados a desarrollar herramientas de geomática, e incrementar, mejorar y perfeccionarlas para que cada vez su uso sea más sencillo y que preste mayores herramientas. A través de Gvsig es posible generar la cartografía definitiva de las zonas afectadas.

**CAPÍTULO 5:
METODOLOGÍA**

5.1. Descripción de la metodología

Una vez que se ha obtenido las imágenes Landsat disponibles, inicia el procesamiento de las mismas. Esto requiere la aplicación de técnicas para detectar incendios forestales y delimitar los perímetros del área quemada. En la fig. 13 se muestra una secuencia de los pasos a desarrollar.

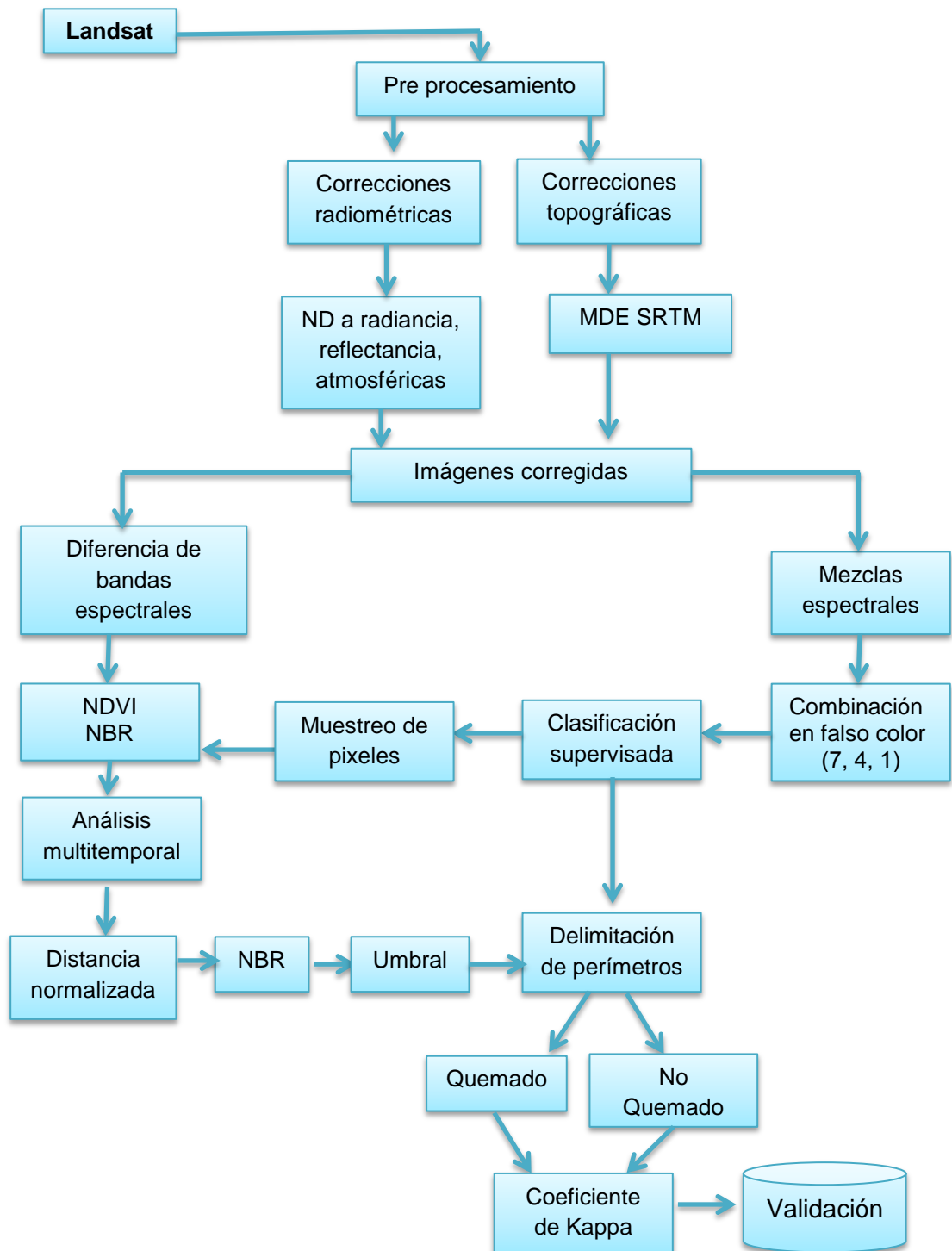


fig. 13 Proceso de las imágenes satelitales Landsat para delimitar los perímetros de áreas quemadas.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

5.2. Corrección de imágenes satelitales.

La corrección de las imágenes satelitales es importante para asegurar la homogeneidad de la señal medida por el sensor en distintas fechas. Los pasos que se realizaron para obtener los datos de radiancia y reflectancia; corregir y eliminar errores por defecto que se tiene por el ángulo, las nubes, atmosfera, bandeo, etc. A continuación se indican las correcciones realizadas:

5.2.1. Correcciones Radiométricas en imágenes Landsat.

Como se mencionó en el marco teórico, dentro de las correcciones radiométricas se encuentran algunas modificaciones que consisten en transformar los ND a valores de radiancia y reflectancia. Los procesos realizados en esta investigación son el cálculo de reflectividades, para lo cual es importante basarse en la ecuación de la radiancia. Con estos valores de radiancia es posible calcular valores de reflectividad aparente, en los que la ecuación incluye el factor corrector de la distancia Tierra – Sol y el ángulo cenital. A todos estos datos se incluyen la corrección atmosférica que permitirá obtener los valores de reflectividad. En la fig. 14 se exponen las ecuaciones utilizadas:

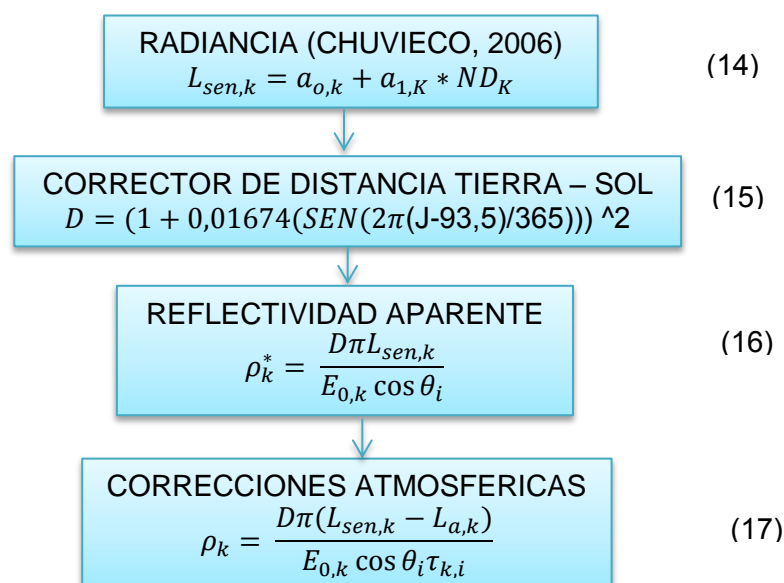


fig. 14 Ecuaciones Correcciones Radiométricas

Fuente: Chuvieco, E., (2006), Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. (2da, ed.). Barcelona, España: Ariel.

Elaboración: El autor.

Dónde:

$L_{sen,k}$ = radiancia

$a_{o,k}$, $a_{1,K}$ = Coeficientes de calibración de esa banda

ND_K = Nivel digital de la misma banda

D= factor corrector de la distancia Tierra – Sol

J= Indica el calendario juliano

ρ_k^* = Reflectividad aparente

$E_{0,k}$ = Irradiancia solar en el techo de la atmosfera

θ_i = Ángulo cenital

$L_{a,k}$ = Radiancia atmosférica debido a la dispersión

$\tau_{k,i}$ = Transmisividad

5.2.2. Corrección Topográfica.

Se realiza una corrección topográfica con la finalidad de eliminar las sombras que generan las zonas montañosas en la imagen satelital Landsat. El proceso se lo ha realizado a través de un Modelo Digital de Elevación (MDE), descargado de la plataforma Earth Explorer. Esta imagen raster pertenece a la Misión Topográfica Shuttle Rada (*SRTM Shuttle Radar Topography Mission*) (fig.15).

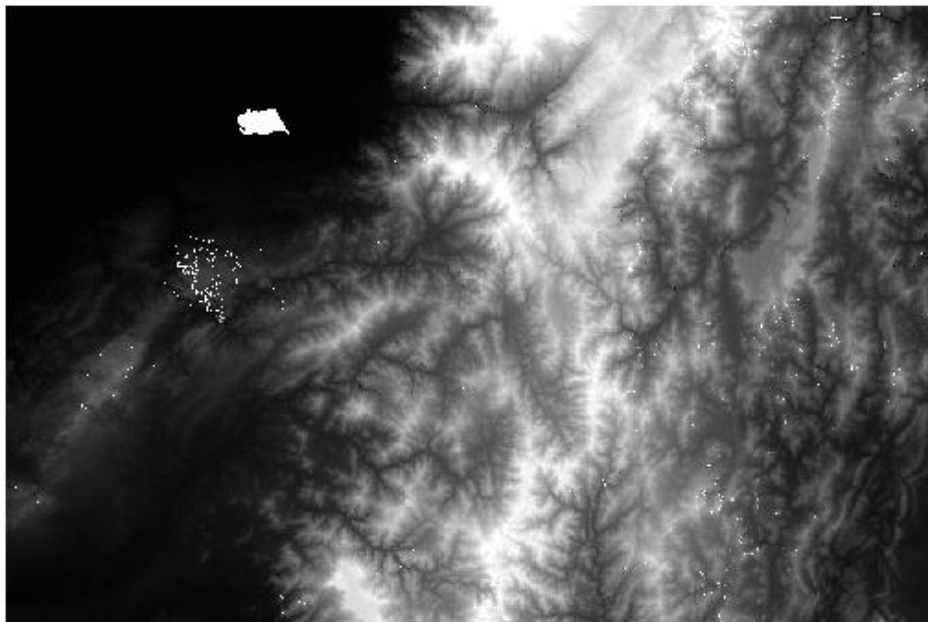


fig. 15 Mosaico de 6 imágenes SRTM

Fuente: U.S. Department of the Interior. (27 de Noviembre de 2013). U.S. Geological Survey.

Obtenido de U.S. Geological Survey: <http://landsat.usgs.gov>

Elaborado: El autor

La imagen satelital Landsat es corregida topográficamente dividiendo la reflectividad para el relieve del terreno en base del MDE. En la fig. 16 se muestra dos imágenes, una sin corrección topográfica (a) y otra corregida (b).

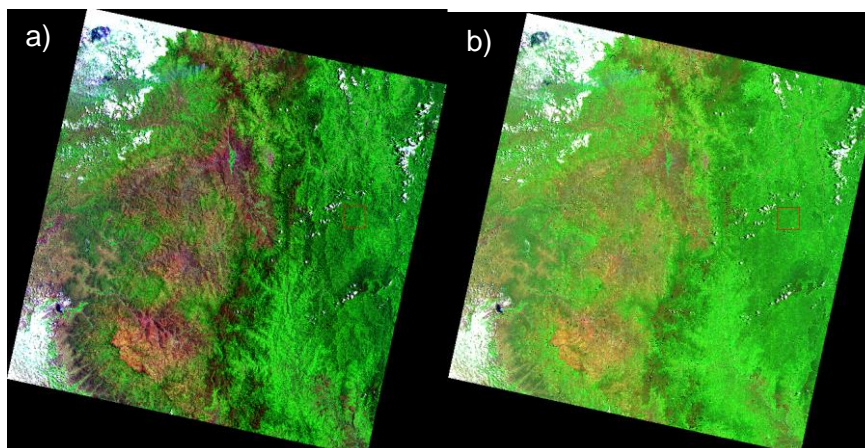


fig. 16 Imagen Landsat combinación (7, 4,1); a) sin corrección topográfica b) corregida topográficamente
 Fuente: El autor
 Elaborado: El autor

5.3. Clasificación Supervisada.

Para trabajar con una clasificación supervisada es necesario que el intérprete tenga conocimientos e información de la zona para discriminar las clases de cobertura existentes. Esta información se obtiene por medio de una combinación de bandas en las imágenes satelitales. Para el satélite Landsat se usa las bandas (7, 4, 1) que corresponden al infrarrojo de onda corta (SWIR), infrarrojo cercano (SWR) y el visible (azul), respectivamente para Landsat 7 (fig.17). Esta combinación permite delimitar el perímetro de la zona afectada el incendio se presenta en color rojo granate. A partir de estos perímetros se realiza el muestreo aleatorio estratificado para la extracción de los valores de los índices NBR Y NDVI.



fig. 17 Combinación de la bandas (7, 4,1), incendio forestal Nambacola.
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

5.4. Diferencia de bandas espectrales

Es una de las técnicas de discriminación que se utilizan para cartografiar incendios forestales a través de la diferencia de las bandas espectrales. A continuación se presentan los índices utilizados en esta investigación.

5.4.1. Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI).

Los índices de vegetación son muy utilizados para cartografiar las áreas quemadas (De Santi & Patrick, 2009); al existir un incendio, este índice disminuye notablemente por el daño producido por el fuego a la vegetación. Sin embargo se puede confundir con otros fenómenos (suelos descubiertos, sombras, deforestación) que producen la misma respuesta espectral, es decir alta reflectividad en el visible y baja IRC (De Santis & Vaughan, 2009). Por lo tanto se va a identificar a través de una comparación entre imágenes antes del incendio y post incendio, para establecer la diferencia entre las dos imágenes y poder definir el umbral. A continuación se expone la ecuación que se utiliza para determinar este índice y en la fig. 18 se observa el resultado de la imagen.

$$NDVI = \frac{\rho_{i,IRC} - \rho_{i,R}}{\rho_{i,IRC} + \rho_{i,R}} \quad (18)$$

Dónde:

NDVI: Índice de vegetación normalizada

$\rho_{i,IRC}$ = Reflectividad del pixel en la banda del infrarrojo cercano

$\rho_{i,R}$ = Reflectividad del pixel en la banda del rojo

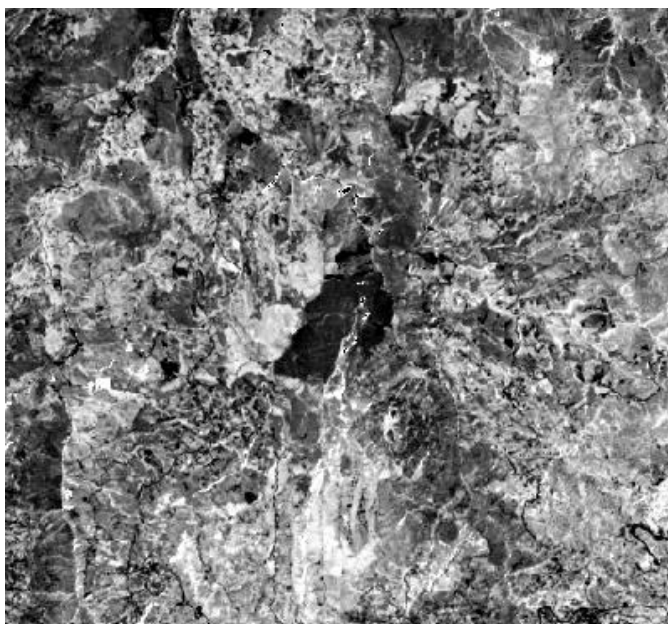


fig. 18 NDVI, incendio forestal San Pablo de Tenta.
Fuente: Soto Torres, Fátima; 2016
Elaborado: Soto Torres, Fátima; 2016

5.4.2. Normalized Burnt Ratio (NBR).

El cálculo del NBR se basa en la señal de carbono y se calcula con la finalidad de compararlo con el NDVI para identificar el que mejores resultados proporciona a la hora de separar un área quemada de no quemada. Para el cálculo se utilizan las bandas correspondientes al infrarrojo cercano y el infrarrojo medio de onda corta. En la fig. 19 se muestra una parte de la imagen procesada para el cálculo del NBR, que corresponde al sector de San Pablo de Tenta.

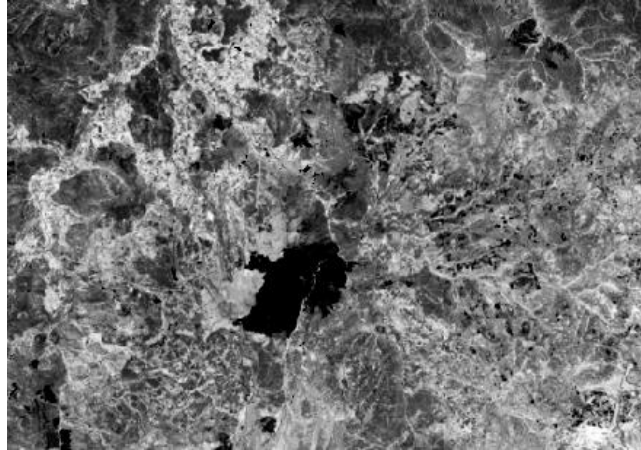


fig. 19 NBR, incendio forestal San Pablo de Tenta.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

5.4.3. Índice de separabilidad.

Para discriminar un área quemada de una sana se debe conocer el rango que poseen cada uno de los índices, para esto, es necesario establecer un índice de separabilidad. Esto se refiere a que los valores de NDVI y NBR que se obtienen deben mostrar dispersión entre una zona afectada por el incendio y una zona sana, mientras más alejado estén los valores unos de otros mucho mejor será la certeza. Mediante la distancia normalizada (D), se establece esta dispersión; pues mientras mayor sea este índice mejor separabilidad ((Kaufman & Remer, 1994; Opazo & Chuvieco, 2009):

$$D = \frac{|x_2 - x_1|}{s_2 + s_1} \quad (19)$$

Dónde:

D: Distancia normalizada

X2: Media de los valores de los índices en el área quemada

X1: Media de los valores de los índices en el área no quemada

S1: Desviación típica de los índices en el área quemada

S2: Desviación típica de los índices en el área no quemada

5.5. Análisis multitemporal

La discriminación multitemporal consiste en la diferencia de dos imágenes satelitales, antes y después del incendio. Con la aplicación de esta metodología se intenta eliminar estas zonas de confusión que por lo general estarán presentes en las dos imágenes y al restarlas

desaparecerán (Martín Isabel & Chuvieco Salinero, 1998). En la fig. 20 se puede observar un análisis multi temporal realizado para el sector de san Pablo de Tenta con la utilización de una imagen antes y post incendio.

La metodología está dirigida a la extracción de información a través de un muestreo aleatorio. Es importante realizar este muestreo antes y después del incendio. Se extrae información de una imagen antes del incendio y post incendio, para analizar el comportamiento del NBR y poder establecer un umbral a partir del cual se pueda discriminar un incendio de otros fenómenos que se presenten sobre la cobertura terrestre (áreas que tienden a causar confusiones como el agua, derrumbes, deforestación, zonas nubladas, sombras, etc.).

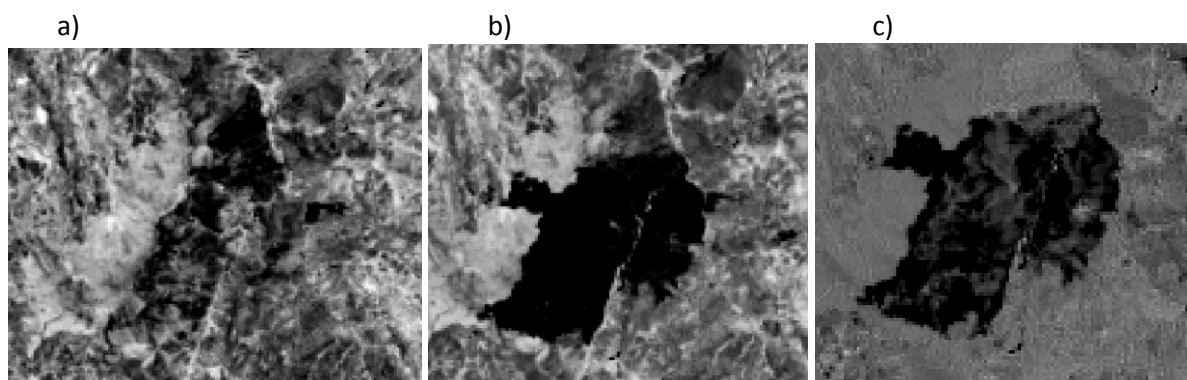


fig. 20 a) NBR antes del incendio forestal San Pablo de Tenta, b) NBR después del incendio forestal San Pablo de Tenta, c) diferencia entre la imagen de antes y después del incendio forestal San Pablo de Tenta

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

5.6. Definición de umbrales con el NBR para la Zona Sur del Ecuador.

Mediante los perímetros delimitados con la combinación de falso color y clasificación supervisada. Se utiliza un muestreo aleatorio estratificado para extraer los valores de los píxeles que corresponde al NDVI y NBR.

5.6.1. Análisis quemado según el tipo de cobertura vegetal.

Se dispone de un mapa de cobertura vegetal, proporcionado por el MAE. Este mapa de cobertura vegetal para el Ecuador corresponde a la clasificación realizada por Sierra et al (1999) y Josee et al (2003), lo cual fue oficializada por el MAE, como se indica en la tabla 8 (MAE, 2012).

Tabla 8 Cobertura vegetal afectada por los incendios forestales en la zona sur del Ecuador

I	Intervención
A.S.D.S.V	Arbustal semideciduo del sur de los valles
B.S.V.M.C.A	Bosque siempre verde montano de Catamayo . Alamor
B.S.P.M.C.A	Bosque semideciduo pie montano de Catamayo - Alamor
B.S.M.B.C.A	Bosque semideciduo montano bajo de Catamayo - Alamor
B.S.V.M.S.C.O.A	Bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes
A.S.V.M.S.A	Arbustal siempre verde de montano del sur de los andes
B.S.V.E.M.B.C.A	Bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo - Alamor
H.D.P	Herbazal del Páramo

Fuente: (MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR, 2012)

Elaborado: El autor

Los valores de NDVI Y NBR obtenidos a partir del muestreo aleatorio (fig. 21) son relacionados y agrupados de acuerdo a la cobertura vegetal que se disponga en el perímetro detectado como quemado. Esta clasificación permitirá definir los umbrales de acuerdo al tipo de vegetación.

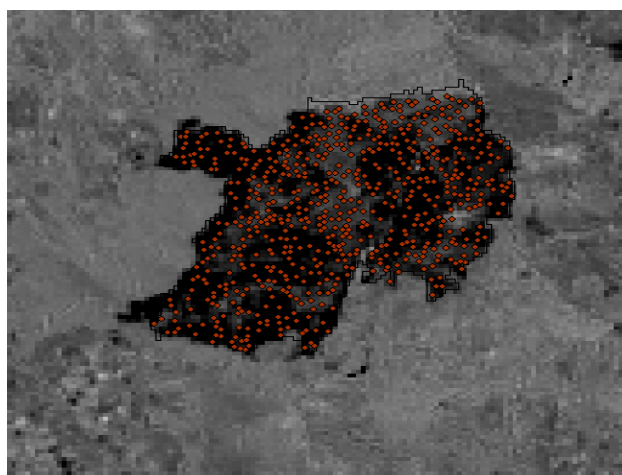


fig. 21 Muestreo aleatorio de perímetros detectados como incendios a partir de la clasificación supervisada.

Fuente: Opazo, E., & Chuvieco, E. (2009). Cartografía de áreas quemadas en Sudamérica: detección de píxeles semilla. Revista de teledetección, 50-71

Elaboración: El autor

5.6.1.1. Análisis estadístico.

A partir de la media de los datos obtenidos según cada cobertura vegetal es necesario comprobar el comportamiento de normalidad que poseen cada uno para definirse dentro de una clase u otra.

Por lo tanto a partir de la desviación estándar y la utilización de pruebas paramétricas es posible establecer el comportamiento de los datos. Se ha utilizado la prueba no paramétrica de Kolmogorov Smirnov (Opazo & Chuvieco, 2009) para comparar los datos extraídos de acuerdo a cada cobertura vegetal.

Para comparación de medias de cada cobertura se utilizó la prueba no paramétrica de U Mann Whitney (Opazo & Chuvieco, 2009); el fin es identificar la relación que puede existir entre cada clase y la dificultad que representa.

La desviación estándar será utilizada con la finalidad de comprobar la uniformidad de los datos, mientras más pequeña sea esta desviación mayor será la agrupación de los datos alrededor de la media.

5.6.2. Análisis de áreas quemadas y su relación con la precipitación.

Se obtienen mapas de precipitación que son correlacionados con las fechas de ocurrencia del incendio forestal y la fecha de disponibilidad de la imagen; es decir se verifica cómo influye la precipitación en la señal del área quemada; se mantenga o se pierda en el tiempo después de algunos días transcurridos.

5.6.3. Coeficiente de Kappa.

La delimitación de los perímetros de áreas quemadas se basa principalmente en la definición de un umbral a partir del índice espectral NBR. Sin embargo para llegar a definir este valor fue necesaria la implementación de una clasificación supervisada Por lo tanto se realiza la comparación de estas dos metodologías a través de la utilización del coeficiente de Kappa.

**CAPÍTULO 6:
RESULTADOS**

6.1. Inventario forestal

Una de las mayores dificultades para la detección de estos incendios es la nubosidad presente en la imagen. Por lo tanto las zonas cubiertas por nubes son descartadas porque no es posible obtener información de la superficie. Otra de las dificultades presentadas para que el incendio sea detectable se debe a la falta de información en el inventario, sobre todo en el tamaño del incendio, puesto que este pudo ser inferior a las 20 ha.

En la fig. 22 se puede observar que alrededor de 60 incendios han sido detectados con la clasificación supervisada, por lo tanto son los mismos perímetros a través de los cuales se extrajo la información de los índices NBR, y NDVI, para generar el umbral

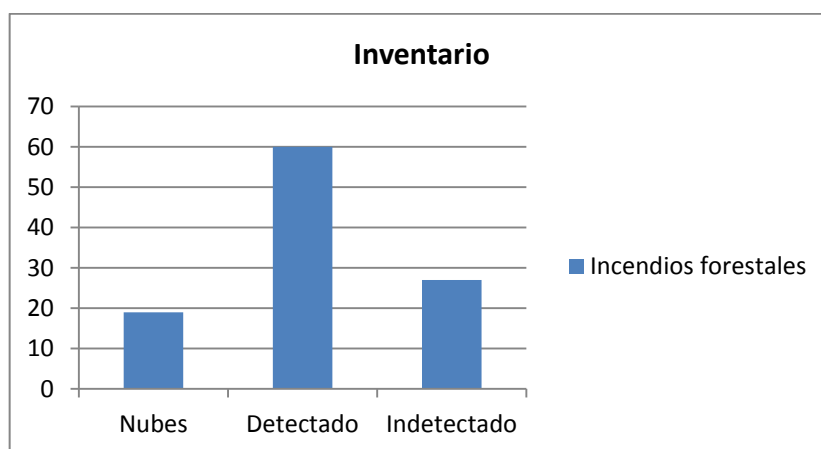


fig. 22 Incendios forestales detectados con la clasificación supervisada. Elaboración: El autor

6.2. Distancia normalizada entre índices

Existe una diferencia significativa entre áreas quemadas y no quemadas de acuerdo al índice que se utilice. La figura 23 muestra los resultados de los índices para diferentes perímetros detectados en el año 2015, este análisis es realizado después de la clasificación supervisada. Se muestra en la figura 22 que únicamente en 4 variables de los 16 analizados el NDVI (color rojo) es superior al NBR (color azul). Sin embargo el mejor clasificador sería el NBR porque ofrece los valores más altos en la distancia normalizada, lo que quiere decir mejor separabilidad en el NBR y por ende mejor dispersión entre los datos de quemado y no quemado. Los índices muestran mejor separabilidad cuando son superiores a 1.

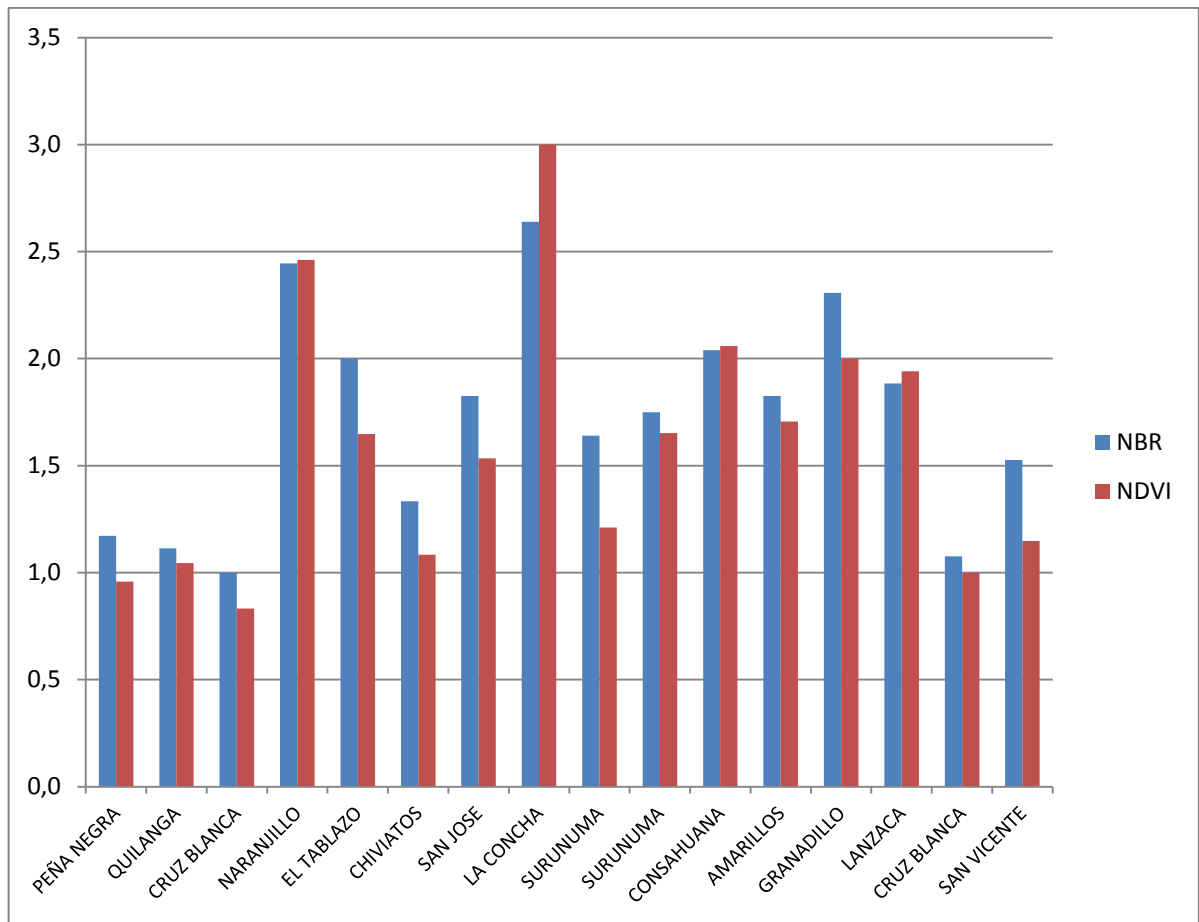


fig. 23 Distancia Normalizada de acuerdo al índice de vegetación.

Fuente: Opazo, E., & Chuvieco, E. (2009). Cartografía de áreas quemadas en Sudamérica: detección de píxeles semilla. *Revista de teledetección*, 50-71.

Elaborado: El autor

6.3. Distancia normalizada en cobertura vegetal

Según la cobertura vegetal el NBR es el mejor discriminador porque los valores de DN son mayores a 1 y la diferencia con el NDVI es de 1 hasta 3 puntos como se observa en la fig. 24. Existe una diferencia entre las clases sin embargo esto se comprobará con la utilización de un método no paramétrico. Los valores más altos de DN dependen del índice que se analice. Sin embargo como el NBR presenta mejor separabilidad, se hará mención de los resultados del mismo, y se observa que los bosques poseen los valores más altos, le sigue el herbazal y por último los arbustos.

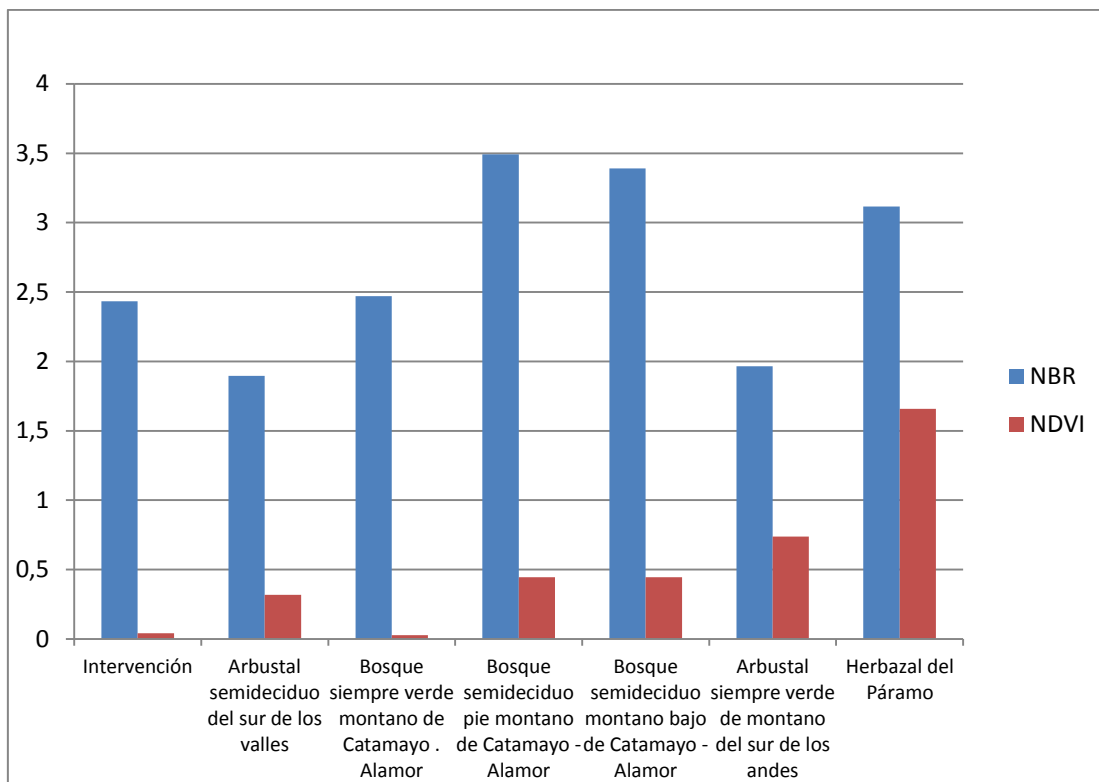


fig. 24 Distancia Normalizada con los índices NBR y NDVI según el tipo de cobertura vegetal
 Fuente: Opazo, E., & Chuvieco, E. (2009). Cartografía de áreas quemadas en Sudamérica: detección de píxeles semilla. *Revista de teledetección*, 50-71.
 Elaboración: El autor.

6.4. Índices espectrales antes y después del incendio

El índice NBR poseía mejor discriminación entre quemado y no quemado. En la fig. 25 se observa como en todos los tipos de cobertura vegetal el NBR antes del incendio posee valores positivos y posterior al incendio este índice es negativo. El NDVI en comparación muestra una reducción también, pero no es tan notoria como se observa en la (fig. 26) puesto que una vegetación sana por lo general se encuentra en el rango de 0,2 – 0,8 y con valores menores a 0,2 la vegetación ha sido alterada. Sin embargo estos valores por lo general no son negativos, ya que únicamente las zonas cubiertas por agua, hielo o nubes tienen este comportamiento. Los valores del NDVI post incendio para este estudio según la cobertura vegetal se encuentran entre 0,15 y 0,5; y antes del incendio van de 0,2 a 0,7.

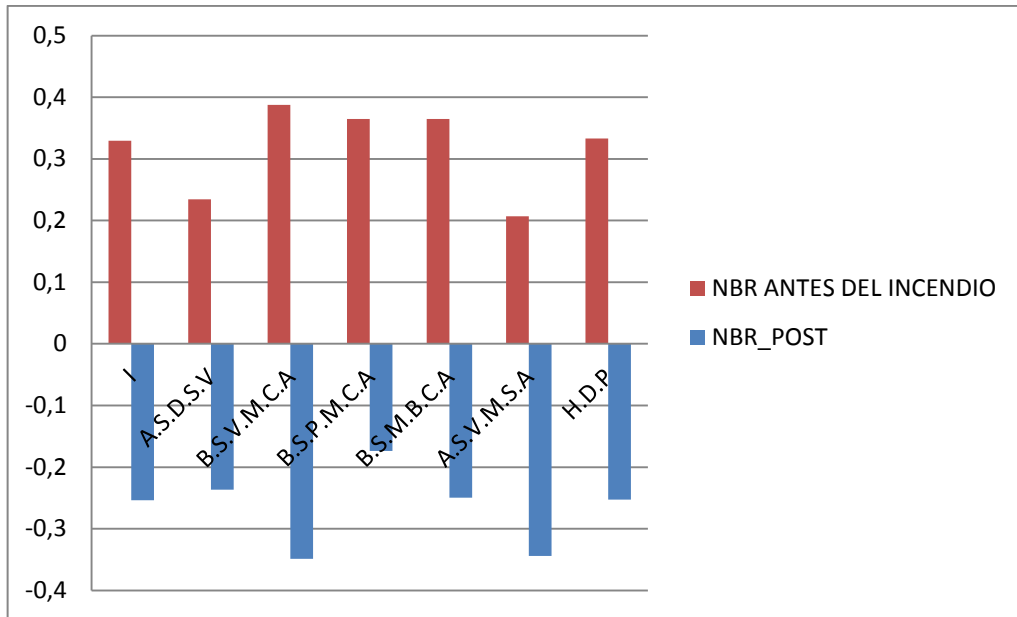


fig. 25 NBR, antes y después del incendio forestal según la cobertura vegetal

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

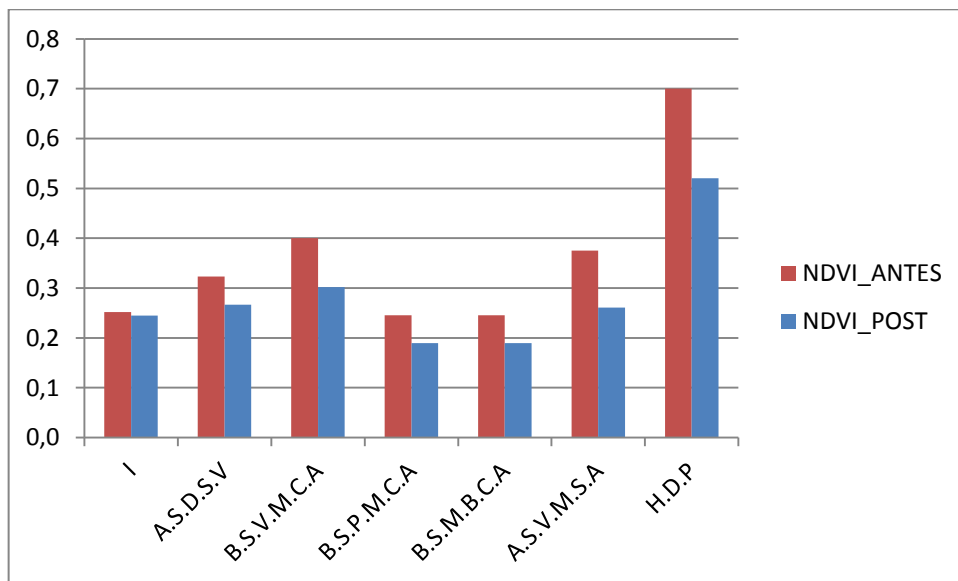


fig. 26 NDVI, antes y después del incendio forestal según la cobertura vegetal

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

6.5. Umbrales según la cobertura vegetal

Se obtiene la media para mostrar el valor representativo de un incendio forestal de acuerdo a la cobertura vegetal se presentan en la tabla 9 y 10 para el NBR y NDVI, respectivamente. Los valores negativos más altos los poseen los bosques verdes y el arbustal en el NBR, por lo tanto, es el tipo de cobertura que demora mucho más tiempo en recuperarse. En el NDVI los valores más bajos son de los bosques por lo tanto indican el mismo comportamiento que

en el NBR, sin embargo el herbazal tiene una recuperación sumamente alta porque su valor de NDVI señala que se comporta igual que una cobertura vegetal particularmente sana.

Tabla 9 Umbrales según NBR

NBR	
Intervención	-0,24
Arbustal semideciduo del sur de los valles	-0,19
Bosque siempre verde montano de Catamayo . Alamor	-0,35
Bosque semideciduo pie montano de Catamayo - Alamor	-0,17
Bosque semideciduo montano bajo de Catamayo - Alamor	-0,25
Bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes	-0,29
Arbustal siempre verde de montano del sur de los Andes	-0,35
Bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo - Alamor	-0,25
Herbazal del Páramo	-0,23

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Tabla 10 Umbrales según NDVI

NDVI	
Intervención	0,24
Arbustal semideciduo del sur de los valles	0,27
Bosque siempre verde montano de Catamayo . Alamor	0,30
Bosque semideciduo pie montano de Catamayo - Alamor	0,19
Bosque semideciduo montano bajo de Catamayo - Alamor	0,19
Bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes	0,21
Arbustal siempre verde de montano del sur de los Andes	0,26
Bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo - Alamor	0,41
Herbazal del Páramo	0,52

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

6.6. Análisis Estadístico

Se compara los datos obtenidos con la media utilizada para definir el umbral a través de la desviación típica. Esta desviación muestra que los datos son bastantes uniformes puesto que se encuentran en el rango de 0,074 – 0,14. La desviación típica más baja corresponde para la cobertura vegetal de bosque semideciduo pie montano de Catamayo – Alamor (B.S.P.M.C.A). En la fig. 27 a fig. 35 se puede observar el comportamiento de los datos, los cuales presentan valores de desviación típica bastante baja por lo tanto los datos son muy cercanos a la media de cada clase. Con la prueba no paramétrica de Kolmogorov Smirnov se afirma que para 7 de los 9 tipos de cobertura vegetal los datos son semejantes a la media obtenida, puesto que existe un nivel de significancia mayor a 0,05 (tabla 11). Sin embargo, para el tipo de cobertura vegetal de intervención y arbustal semideciduo del sur en los valles, es menor a 0,05. El bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de

los Andes, tiene el mayor valor de significancia por lo tanto, todos los datos cumplen con la hipótesis de igualdad.

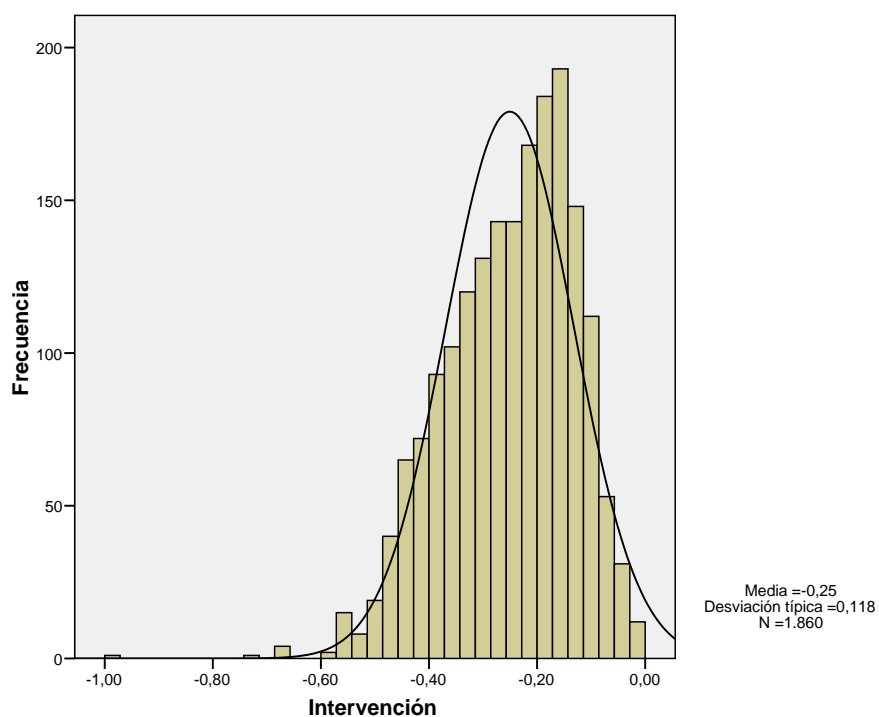


fig. 27 Desviación típica para cobertura vegetal de intervención.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

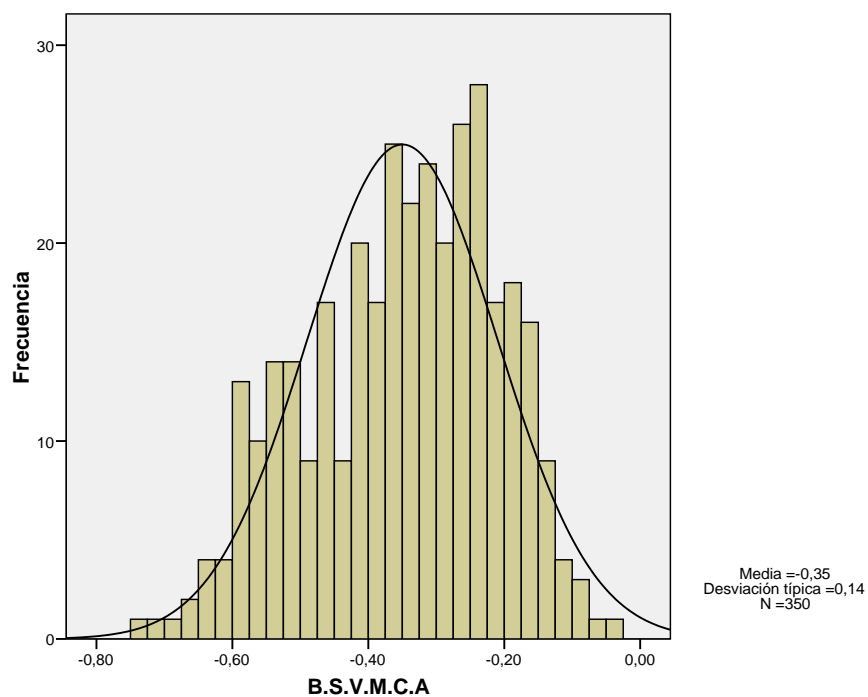


fig. 28 Desviación típica para cobertura vegetal de bosque siempre verde montano de Catamayo – Alamor (B.S.V.M.C.A).

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

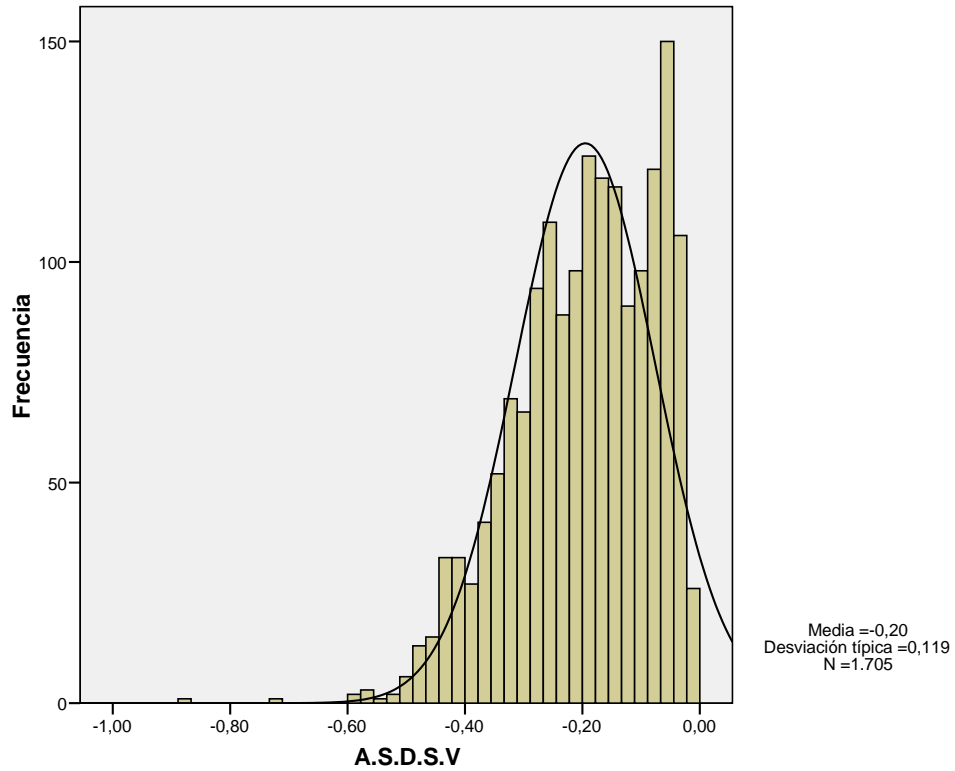


fig. 29 Desviación típica para arbustal semidecuido del sur de los valles
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

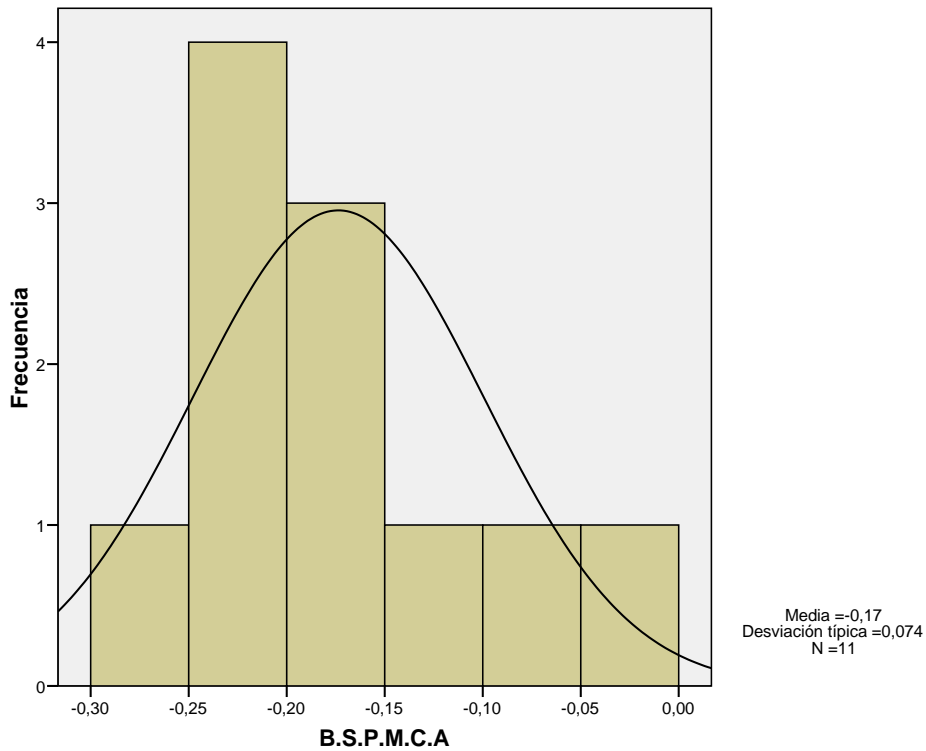


fig. 30 Desviación típica para bosque semidecuido pie montano de Catamayo – Alamor
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

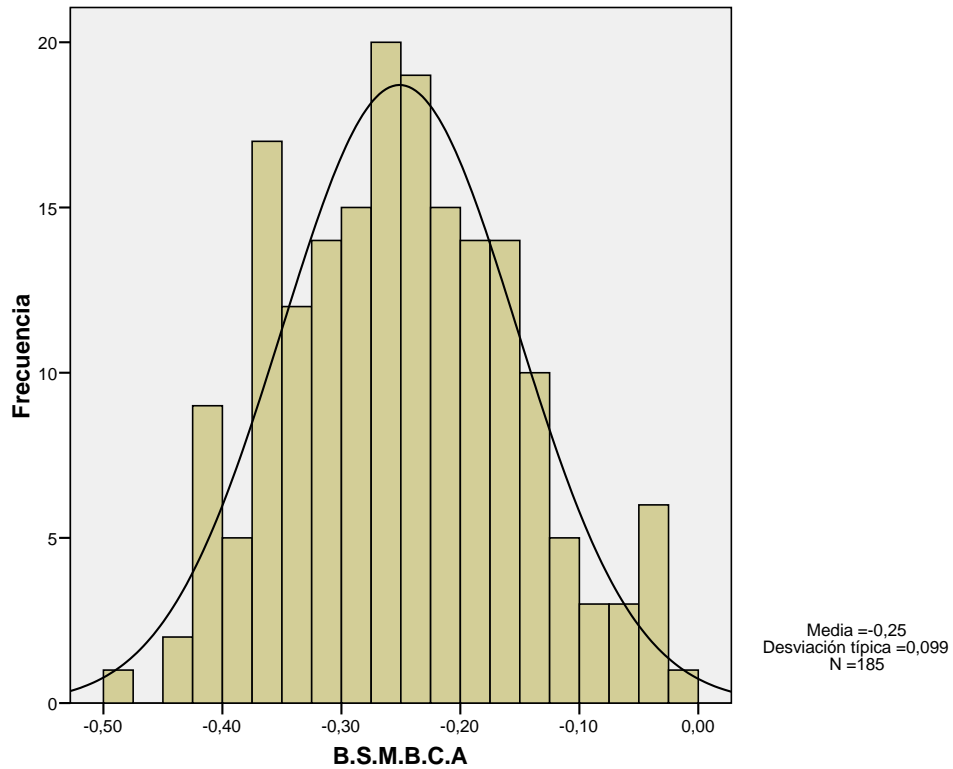


fig. 31 Desviación típica para bosque semidecuido montano bajo de Catamayo - Alamor
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

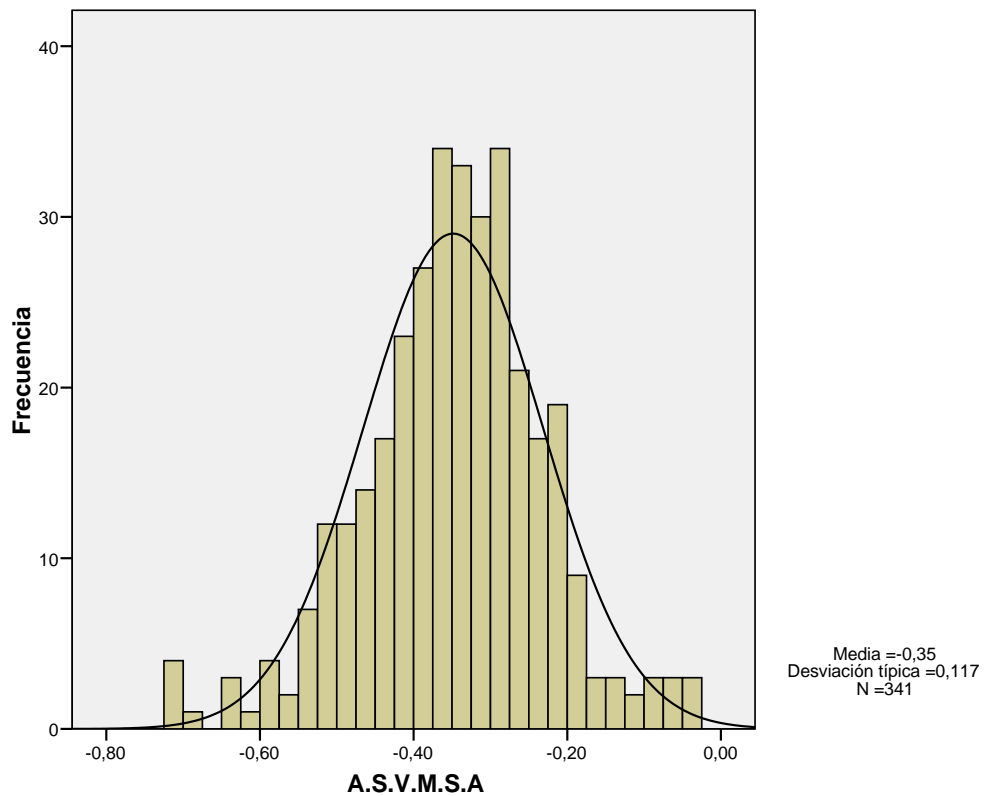


fig. 32 Desviación típica para arbustal siempre verde de montano del sur de los andes
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

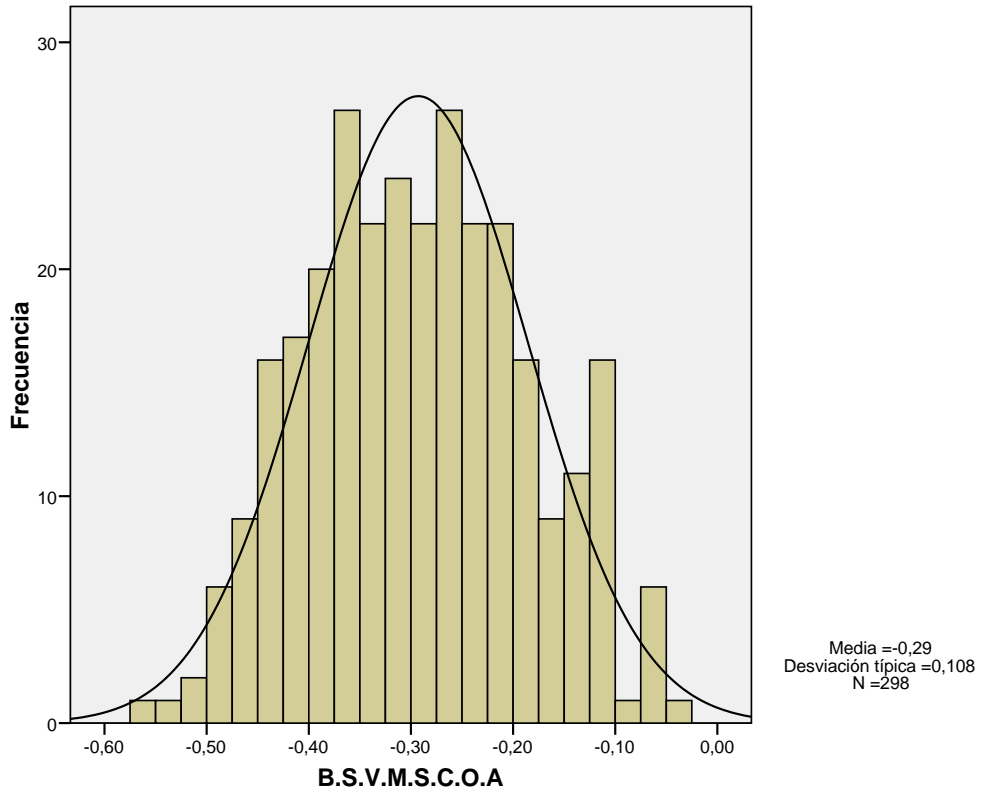


fig. 33 Desviación típica para bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

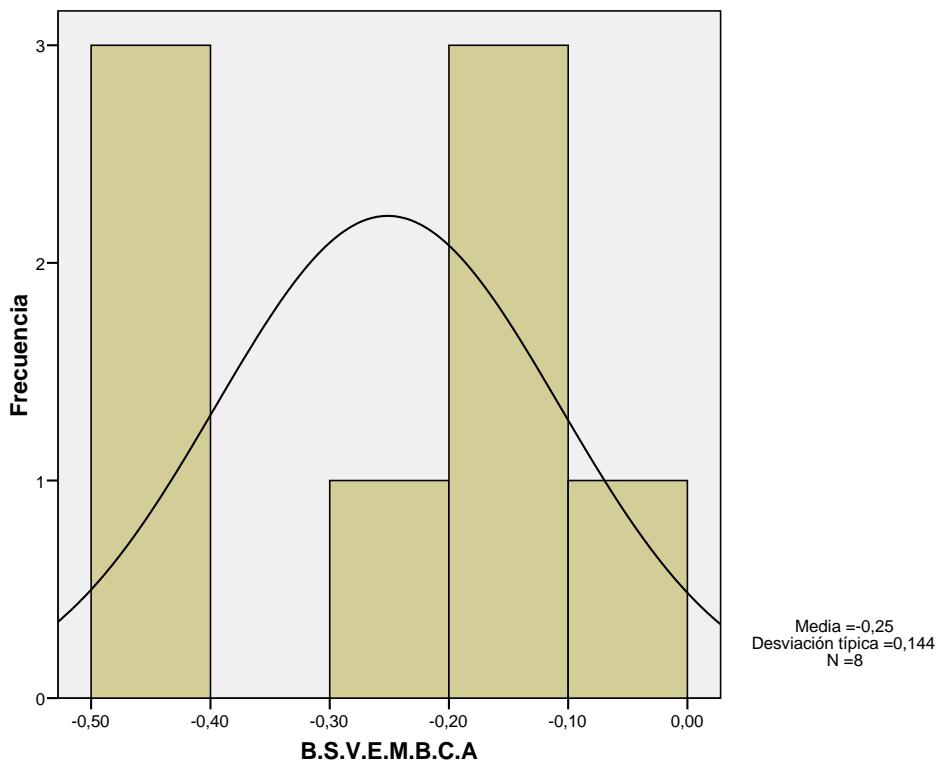


fig. 34 Desviación típica para bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo – Alamor

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

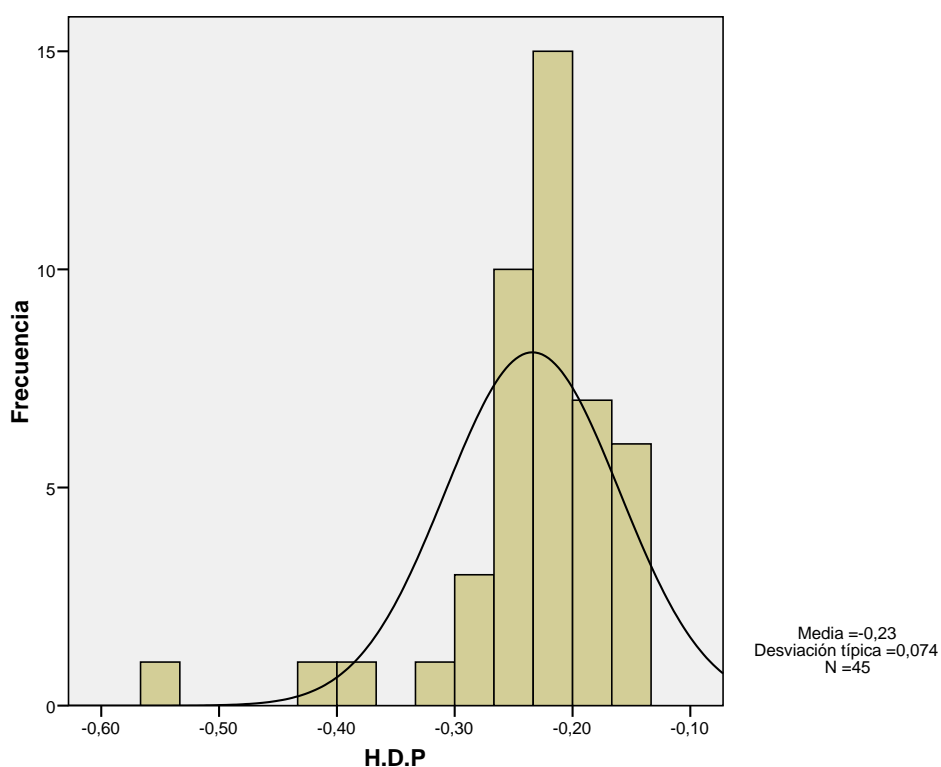


fig. 35 Desviación típica para herbazal del páramo
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Tabla 11 Valores de significancia con Kolmorov – Smirnov de acuerdo a cada grupo de clasificación.

Tipo de Cobertura Vegetal	Sig.
Intervención	3,18E-06
Arbustal semidecuido del sur de los valles (A.S.D.S.V.)	5,26E-06
Bosque siempre verde montano de Catamayo . Alamor (B.S.V.M.C.A)	0,144
Bosque semidecuido pie montano de Catamayo - Alamor (B.S.P.M.C.A)	0,775
Bosque semidecuido montano bajo de Catamayo - Alamor (B.S.M.B.C.A)	0,924
Bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes (B.S.V.M.S.C.O.A)	0,463
Arbustal siempre verde de montano del sur de los Andes (A.S.V.M.S.A)	0,718
Bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo - Alamor (B.S.V.E.M.B.C.A)	0,782
Herbazal del Páramo (H.D.P)	0,089

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Se realiza la prueba no paramétrica de U Mann Whitney para comparar la media de cada clase de cobertura vegetal. A través de estas pruebas se demostró que existe similitud entre ellas y por lo tanto serán clasificadas dentro de ese tipo de cobertura. Igual que en el análisis anterior esto se debe a que el valor de significancia es superior a 0,05. En la tabla 12 se observa los valores de significancia y la clasificación a la que pertenecen, como por ejemplo intervención, Bosque semidecuido pie montano de Catamayo - Alamor, Bosque

semideciduo montano bajo de Catamayo - Alamor, Bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo - Alamor Y Herbazal del Páramo, son iguales y por lo tanto pertenecen a un solo grupo de clasificación. Arbustal semideciduo del sur de los valles es un único grupo al igual que Bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes. Finalmente dos coberturas vegetales tienen el mismo comportamiento por lo que son iguales (Bosque siempre verde montano de Catamayo . Alamor y Arbustal siempre verde de montano del sur de los Andes) En la tabla 13 se presenta la agrupación de cada clase.

Tabla 12 Valores de significancia con U Mann Witney entre dos grupos de cobertura

Comparación		Media		Significación	
Intervención (1)	A.S.D.S.V (2)	-0,244	-0,193	1,4E-39	Diferentes
Intervención (1)	B.S.V.M.C.A (3)	-0,244	-0,350	2,3E-37	Diferentes
Intervención (1)	B.S.P.M.C.A (4)	-0,244	-0,174	0,05887	Iguals
Intervención (1)	B.S.M.B.C.A (5)	-0,244	-0,251	0,10417	Iguals
Intervención (1)	A.S.V.M.S.A (6)	-0,244	-0,348	2,6E-46	Diferentes
Intervención (1)	B.S.V.M.S.C.O.A (7)	-0,244	-0,293	8,0E-13	Diferentes
Intervención (1)	B.S.V.E.M.B.C.A (8)	-0,244	-0,251	0,96147	Iguals
Intervención (1)	H.D.P (9)	-0,244	-0,234	0,72765	Iguals
A.S.D.S.V (2)	B.S.V.M.C.A (3)	-0,193	-0,251	5,36491E-71	Diferentes
A.S.D.S.V (2)	A.S.V.M.S.A (6)	-0,193	-0,348	1,38899E-81	Diferentes
A.S.D.S.V (2)	B.S.V.M.S.C.O.A (7)	-0,193	-0,293	3,09344E-39	Diferentes
B.S.V.M.C.A (3)	A.S.V.M.S.A (6)	-0,350	-0,348	0,580595088	Iguals
B.S.V.M.C.A (3)	B.S.V.M.S.C.O.A (7)	-0,350	-0,293	3,69033E-06	Diferentes

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Tabla 13 Clases de acuerdo a la significancia, nuevos grupos

Cobertura Vegetal	Clase
Intervención	Clase1
Arbustal semideciduo del sur de los valles	Clase 2
Bosque siempre verde montano de Catamayo . Alamor	Clase 3
Bosque semideciduo pie montano de Catamayo - Alamor	Clase 1
Bosque semideciduo montano bajo de Catamayo - Alamor	Clase 1
Bosque siempre verde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes	Clase 4
Arbustal siempre verde de montano del sur de los Andes	Clase 3
Bosque siempre verde estacional montano bajo del Catamayo - Alamor	Clase 1
Herbazal del Páramo	Clase 1

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

6.7. Análisis de áreas quemadas según la precipitación

Los incendios se producen en temporada seca, que corresponde a los meses de julio a diciembre (INAMHI, 2015). La mayor parte de los incendios se producen en el mes de septiembre, aunque existen algunas eventualidades como se observa en la fig. 36, en donde

el incendio se produjo en el mes de mayo. Sin embargo se nota que por lo general no se habían presentado eventos de precipitación durante varios días.

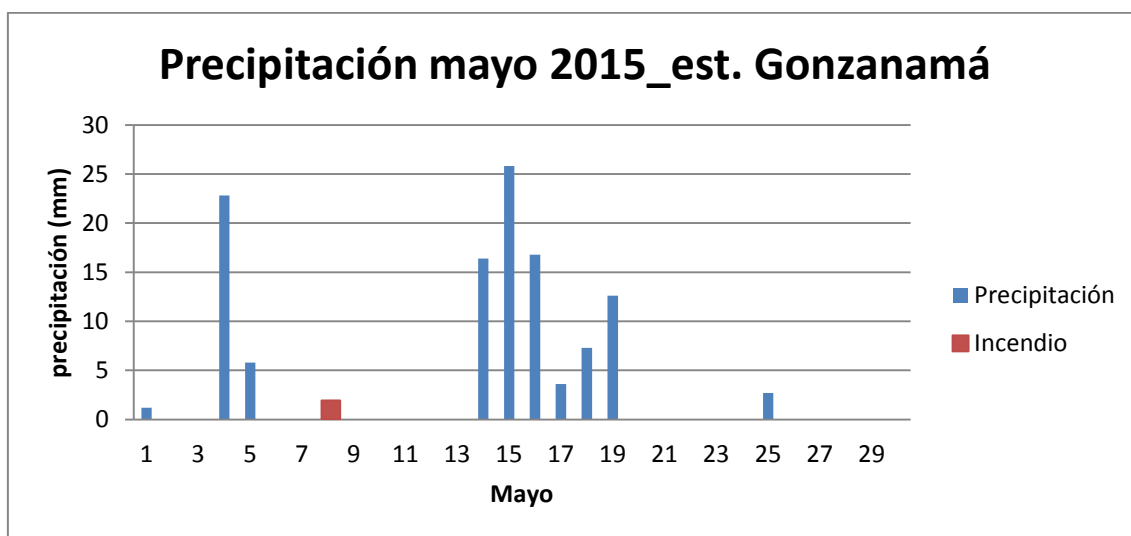


fig. 36 Precipitación en el mes de mayo e incendio suscitado el 08-05-2015 en Gonzanamá.
Fuente: INAMIH, 2016; SGR, 2015.
Elaboración: El autor

Existen meses completamente secos para la provincia de El Oro y la parte occidental de la provincia de Loja, en los que no ha llovido durante meses como en la fig. 37, (estación meteorológica Catacocha para el mes de agosto de 2004).

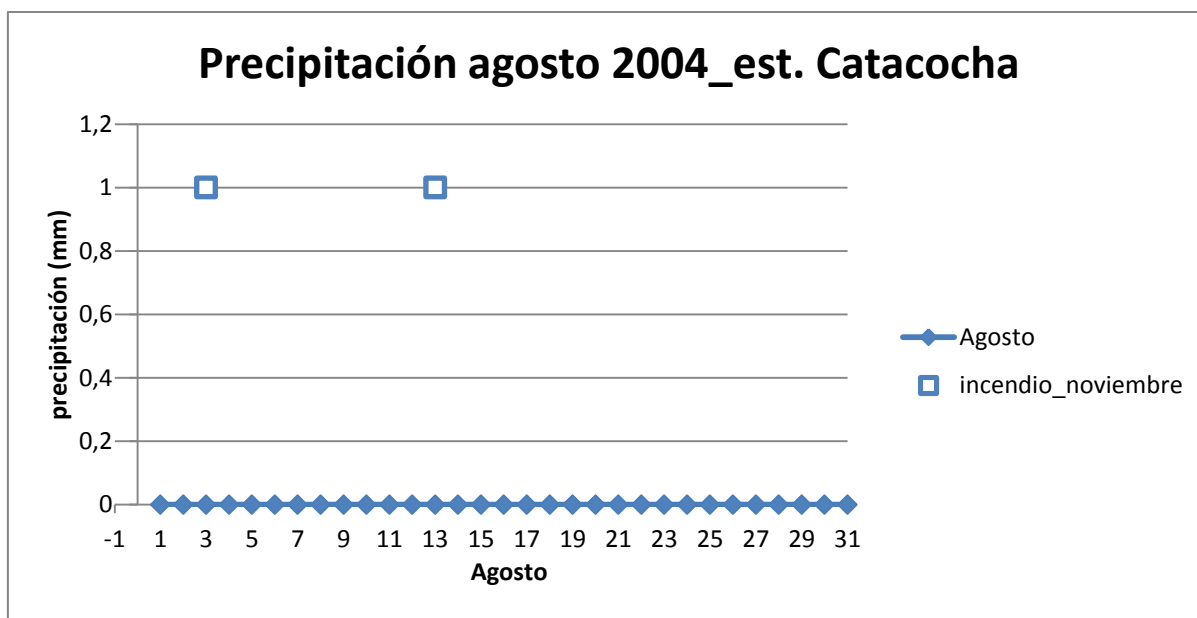


fig. 37 Precipitación en el mes de agosto de 2004 e incendios suscitados el 03-08-2004 y 13-08-2004 en Catacocha.
Fuente: INAMIH, 2016; SGR, 2015.
Elaboración: El autor

El 22 de septiembre de 2013 se produjeron 4 incendios forestales en diferentes zonas del sur del país. Se ha realizado un mapa de precipitación, con los datos de las estaciones meteorológicas disponibles. En la fig. 38 se observa que prácticamente durante ese día no existieron eventos de precipitación. Uno de estos incendios pertenece al sector de Santa Bárbara, parroquia Quilanga, provincia de Loja cercano a la estación Quilanga y se observa que durante todo el mes de septiembre no existieron registros de precipitaciones (fig. 39).

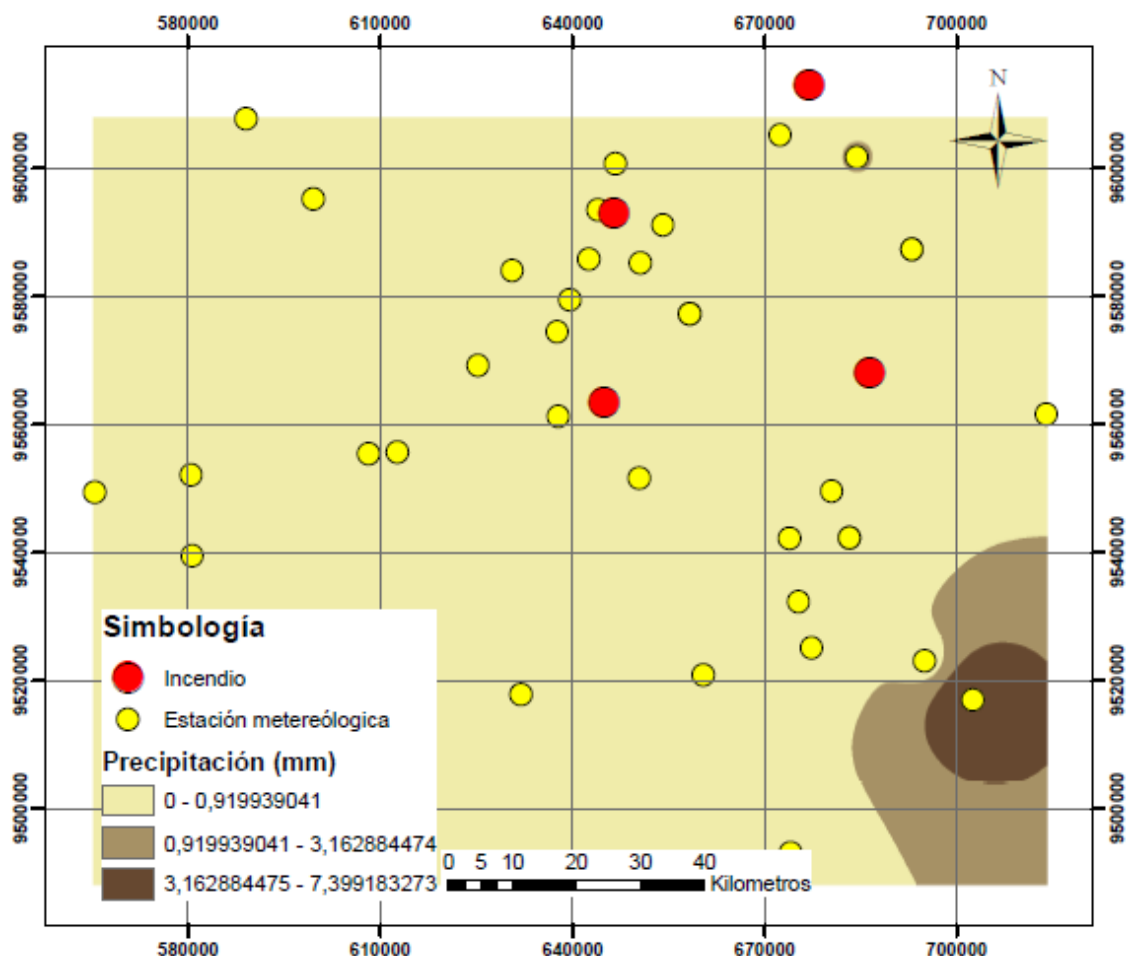


fig. 38 Mapa de precipitaciones del día 22-09-2013 y 4 incendios, ocurridos en diferentes zonas. Fuente: INAMIH, 2016; SGR, 2015. Elaboración: El autor

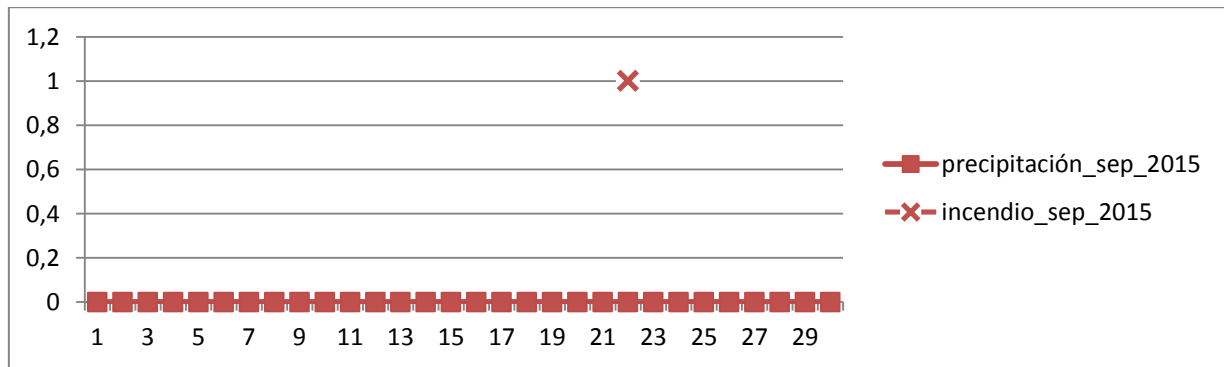


fig. 39 Precipitaciones registradas en la estación de Gonzanamá durante el mes de septiembre Fuente: INAMIH, 2016; SGR, 2015. Elaboración: El autor

El mes de septiembre de 2013 fue un mes seco y en el que se registraron algunos incendios forestales (fig. 40). Los registros de las estaciones cercanas indican que por lo menos no han existido de precipitaciones de dos días antes del incendio.

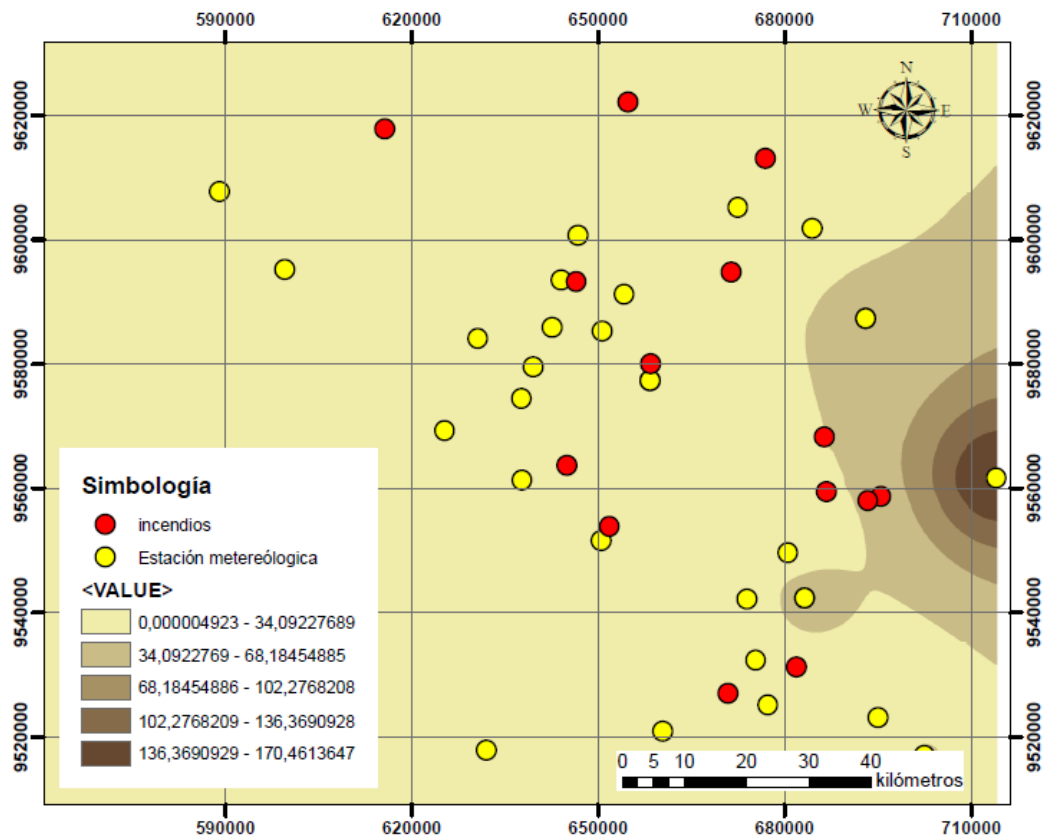


fig. 40 Mapa de precipitaciones del mes de septiembre.
 Fuente: INAMIH, 2016; SGR, 2015.
 Elaborado: El autor

6.8. Coeficiente de Kappa

El análisis realizado para algunos de los perímetros de los cuales también se tienen registro oficial de la SGR muestra del 70 – 90 % de similitud al aplicar los métodos de clasificación y umbral. En la tabla 14 y 15 se observa el análisis para dos incendios ocurridos en la parroquia El Ingenio de la provincia de Loja.

Tabla 14 Matriz cruzada entre las clases de pixeles quemado y no quemado, para la obtención del coeficiente de Kappa, incendio El Ingenio 1.

El Ingenio 1		NBR (umbral)		
		Quemado	No quemado	Total
Clasificación supervisada	Quemado	510	152	662
	No quemado	13	120	133
	Total	523	272	795

Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

Tabla 15 Matriz cruzada entre las clases de píxeles quemado y no quemado, para la obtención de coeficiente de Kappa, incendio El Ingenio 2.

El Ingenio 2		NBR (umbral)		
		Quemado	No quemado	Total
Clasificación supervisada	Quemado	198	132	330
	No quemado	132	120	121
	Total	199	252	451

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

En el ensayo desarrollado para la fecha 30-08-2015 se ha obtenido con el umbral un área de 523 píxeles que con la clasificación supervisada se obtienen 662 píxeles como quemados. En la fig. 41 se puede observar las diferencias entre los perímetros delimitados con la aplicación de estas dos metodologías. Otro ejemplo adicional se tiene en la fig. 42 para la fecha 13-09-2015 con un área de 199 píxeles utilizando el umbral y de 330 con la clasificación supervisada.

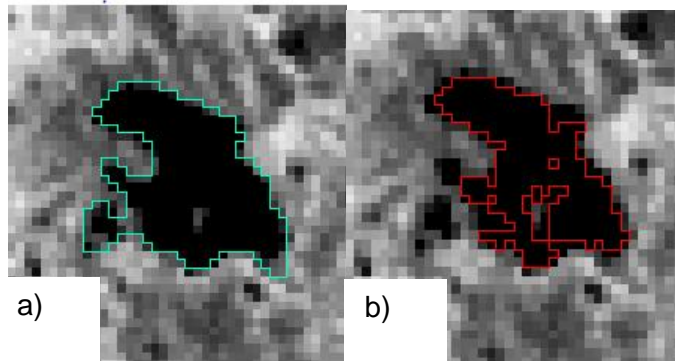


fig. 41 Sitio el Ingenio 2, delimitación del perímetro del área quemada. a) perímetro delimitado con clasificación supervisada y fig. b) perímetro delimitado de acuerdo a un umbral.

Fuente: Soto Torres, Fátima; 2016
Elaborado: Soto Torres, Fátima; 2016.

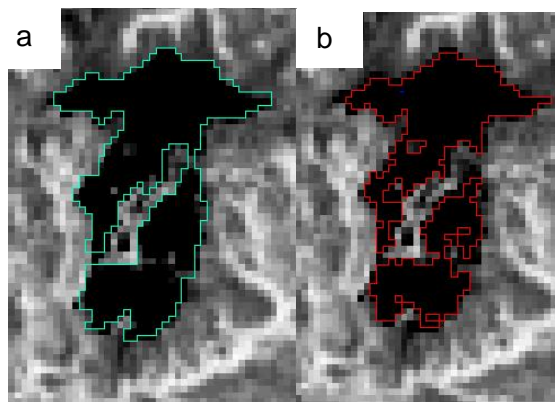


fig. 42 Sitio el Ingenio 1, delimitación del perímetro del área quemada. a) perímetro delimitado con clasificación supervisada y fig. b) perímetro delimitado de acuerdo a un umbral.

Elaborado: Soto Torres, Fátima; 2016.

Según el coeficiente de Kappa, existe una relación de 70 a 95% entre las dos metodologías aplicadas para delimitar el área afectada por incendios forestales. Sin embargo no sucede lo mismo con los datos proporcionados por la SGR. Se ha efectuado el análisis con los incendios ocurridos en la parroquia El Ingenio de la provincia de Loja, esto se puede observar en la tabla 16.

Tabla 16 Comparación de los datos del área afectada según la SGR, de acuerdo al umbral y con la clasificación supervisada

Zona	Área SGR (ha)	Área Umbral (ha)	Área clasificación supervisada (ha)
El Ingenio 1	300	47,07	59,58
El Ingenio 2	40	18,72	29,79

Fuente: Soto Torres, Fátima; 2016

Elaborado: Soto Torres, Fátima; 2016.

**CAPÍTULO 7:
DISCUSIÓN**

El análisis de los índices para cartografiar áreas quemadas permite establecer el índice que mejor discrimina el área quemada de no quemada. Para ello se comparó el NBR y NDVI, lo cual no se trata de una mejor precisión sino de una mejor discriminación, según Opazo y Chuvieco (2009). Es recomendable utilizar una combinación de índices con la finalidad de eliminar o descartar completamente las falsas detecciones. Sin embargo en este estudio se ha utilizado específicamente un índice destinado para la detección de áreas quemadas como lo es el NBR. Se descarta el NDVI, puesto que al realizar el análisis de vegetación post incendio estos índices de vegetación no son buenos discriminadores de áreas quemadas, ya que pueden ocasionar confusiones con otras áreas como sombras, deforestación, agua, que poseen la misma reflectividad (De Santi & Patrick, 2009).

Para realizar el análisis multitemporal, es muy útil tanto el NDVI como el NBR. En todos los casos el área antes del incendio está representada por valores positivos, mientras que el área quemada queda representada por valores negativos que van desde 0 hasta -0,6.

En los valores agrupados de acuerdo a la cobertura vegetal se observa que el valor de -0,35 (del índice NBR) representa una señal intensa de carbón para el Bosque siempre verde montano de Catamayo. Alamor (BSVMCA) y Arbustal siempre verde de montano del sur de los Andes (ASVMSA), por lo tanto se discrimina mucho mejor. Esto se debe a la cantidad de biomasa que representan los bosques y arbustos, sin embargo en muchas ocasiones tiende a confusión, según De Santi y Patrick (2009), la señal de carbón más intensa la generaría el arbolado, seguido por el matorral y finalmente la señal más débil sería originada por el herbazal. En este estudio efectivamente los valores más altos de señal de carbón la generan un tipo de bosque y arbustal. Cabe recalcar que este tipo de cobertura está en la clasificación de un bosque y arbustal siempre verde, razón por la cual se diferencia de los otros tipos de bosques y arbustales que se encuentran emitiendo una señal de carbón igual a un matorral. Efectivamente dentro de la clasificación el único tipo de herbazal que se posee representa la señal de carbono más baja. Entre algunas de las características que ocasionan estas confusiones se encuentra el contenido de humedad, ya que es el principal indicador en señalar el peligro de ignición y de ocurrencia. Para determinar el comportamiento de la señal de carbón del incendio, existen otras características que influyen como el viento, la pendiente, el modelo de combustible, entre otros factores. (Chuvieco Salinero, 2009),

Se usan datos de precipitación para identificar el tipo de temporada en la que se produce los incendios. Los incendios han tenido lugar en época seca, con algunas eventualidades en

mes del año como: febrero, abril y mayo. Estos incendios se producen en la parte seca de la sierra y por lo general se nota ausencia de precipitación en un periodo de al menos 2 días.

Las pruebas de separabilidad para cada cobertura vegetal según los datos muestreado, indican que algunos tipos de cobertura vegetal tienen una dispersión amplia en los datos como lo es para el tipo de cobertura de intervención. Esta dispersión principalmente se debe a las características que posee, puesto que el tipo “intervención” abarca a todo tipo de cultivo, y la señal puede ser muy dispersa dependiendo del tipo de plantación que se tenga. El tipo de cobertura vegetal que mejor igualdad tiene en los datos es el bosque semideciduo montano bajo de Catamayo – Alamor, seguido de todos los otros tipos de bosque y una mayor dispersión los tipo arbustal y herbazal.

La prueba de separabilidad entre las clases de cobertura vegetal muestra que existe semejanza entre algunos grupos y por lo tanto existe mayor grado de confusión. Por eso, se los ha relacionado de acuerdo al grupo con el que se identifican o tienden a confundirse.

Con los umbrales obtenidos se puede establecer un algoritmo para la detección de pixeles semillas de acuerdo al tipo de cobertura vegetal, o generalizar en un umbral para toda la zona 7 del Ecuador.

Para evitar confusiones por cualquier error que pueda existir en el satélite se ha decidido no considerar las agrupaciones que corresponda a manchas menores a 10 pixeles.

La resolución temporal del satélite Landsat es de 16 días, por lo tanto esto incrementa la dificultad de obtener imágenes satelitales completamente libre de nubes. Sin embargo se ha considerado aceptable imágenes con una cobertura de nubes hasta de un 40%, debido a que en algunos años como el 2001, 2008 y 2011 fue imposible obtener una imagen libre de nubes. Por lo general, para los años en los que se realiza el estudio se ha podido obtener hasta 2 imágenes satelitales. Adicionalmente se puede mencionar que un estudio realizado por Opazo y Chuvieco (2009) señala que el Ecuador es uno de los países con alta nubosidad, pero con menos ocurrencia de incendios por su alta pluviometría.

La nubosidad se convierte en una dificultad no únicamente por el hecho de que en las zonas cubiertas no es posible identificar el incendio, sino también por las sombras que generan. Un estudio realizado por Chuvieco y Garcia (2004) muestran los errores de sobre estimación por la confusión que se puede dar con un área quemada.

Otra de las dificultades que se tiene es el error de escaneo en las imágenes satelitales a partir del 2003. Muchas zonas que están dentro del error son descartadas completamente y por lo tanto no se puede obtener información de ellas, especialmente esto afecta a la

provincia de El Oro. A partir del 2013 se puede obtener información del Landsat 8, pues este satélite ofrece información de mejor calidad, que facilita el estudio.

El análisis temporal permite identificar hasta qué punto se puede utilizar el algoritmo debido a que poco a poco se recupera la señal de la vegetación perdida.

El algoritmo permitirá obtener los perímetros de incendios forestales para la zona 7 y todo el Ecuador de manera rápida y fácil, sin necesidad de una inversión alta en recursos materiales, de personal y económicos, con la finalidad de que se conozcan los daños y se pueda implementar actividades de remediación ambiental.

CONCLUSIONES

- Por lo general para la zona sur de Ecuador se utilizan imágenes satelitales con un intervalo temporal bastante alto desde la fecha de ocurrencia hasta la disponibilidad de imagen satelital, por lo general de 42 días después del incendio, puesto que las imágenes cubiertas de nubes son descartadas.
- Los resultados obtenidos a partir de índice de separabilidad nos indican que el NBR es mejor que el NDVI para discriminar entre áreas quemadas y no quemadas.
- La nubosidad y falta de información dentro del inventario forestal, originan que algunos incendios puedan pasar desapercibidos o se considere que está siendo confundido con otro fenómeno.
- Las metodologías para la delimitación de los perímetros: clasificación supervisada y umbral muestran un grado de similitud. Sin embargo se considera que existe una sobreestimación respecto a los proporcionados por la SGR en lo que corresponde al tamaño del incendio.
- El levantamiento de coordenadas en el sitio es importante para corroborar la ubicación del fenómeno, para solo 2013 a 2015, dan esta facilidad.
- Respecto a la clasificación supervisada se considera que no es recomendable, puesto que depende de la capacidad del intérprete y de su experiencia. Por tal razón es simplemente utilizada como una técnica de partida para la extracción de los pixeles semilla. Según el coeficiente de Kappa tiene bastante similitud con la metodología empleada en esta investigación para la delimitación de áreas de incendios grandes. Es recomendable una combinación de estas técnicas y metodologías para aumentar la capacidad de discriminación.

BIBLIOGRAFÍA

- Cahoon, D., Stocks, B., Levine, J., Cofer, W., & Pierson, J. (1994). Satellite analysis of the severe 1987 forest fires in Northern China and Southeastern Siberia. *Journal of geophysical research*, 18627-18638.
- Camarero, J. J., & Fortin, M. J. (2006). Detección cuantitativa de frontera ecológicas y ecotonos. *Ecosistemas*, 76-87.
- Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Ambiente y desarrollo de CIPMA*, 44-53.
- Chuvieco Salinero, E. (2009). Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección. *X Programa de promoción de la cultura científica y tecnológica* (págs. 173-181). Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.
- Chuvieco, E. (2006). *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Barcelona: Ariel.
- Chuvieco, E. (2008). Satellite observation of biomass burning: implications in global change research. En E. Chuvieco, *Earth observation and global change* (págs. 109-142). New York: Springer.
- Cure, L. (2015). Análisis de métodos para la cartografía de incendios forestales en el cantón de cuenca a partir de imágenes TERRA/AQUA MODIS. *Tesis de posgrado de magister geomática con mención en ordenamiento territorial*, 1-28.
- De Santi, A., & Patrick, V. (2009). Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. *Recursos Ruaris*, 93-100.
- De Santis, A., & Vaughan, P. (2009). Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. *Recursos rurais*, 93-100.
- EOEdu coordination. (06 de Abril de 2016). *EOEdu Observing our planet*. Obtenido de sitio web de EOEdu : <http://eoedu.belspo.be/en/satellites/spot.htm>
- eoPortal Directory. (04 de Abril de 2016). *eoPortal*. Obtenido de eoPortal Directory: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-4-5>
- eoPortal Directory. (04 de 04 de 2016). *eoPortal*. Obtenido de eoPortal Directory: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/irs-1c-1d>
- eoPortal Editorial Team. (11 de Febrero de 2016). *eoPortal*. Obtenido de Sharing Earth Observation resources: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/resurs-o1>
- Fraser, R., Fernandes, R., & Latifovic, R. (2002). Multi-temporal burned area mapping using logistic regression analysis and change metrics. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 1486-1488.
- Fraser, R., Li, Z., & Cihlar, J. (2000). Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): a new technique for burned area mapping over boreal forest. *Remote sensing of environment*, 362-376.

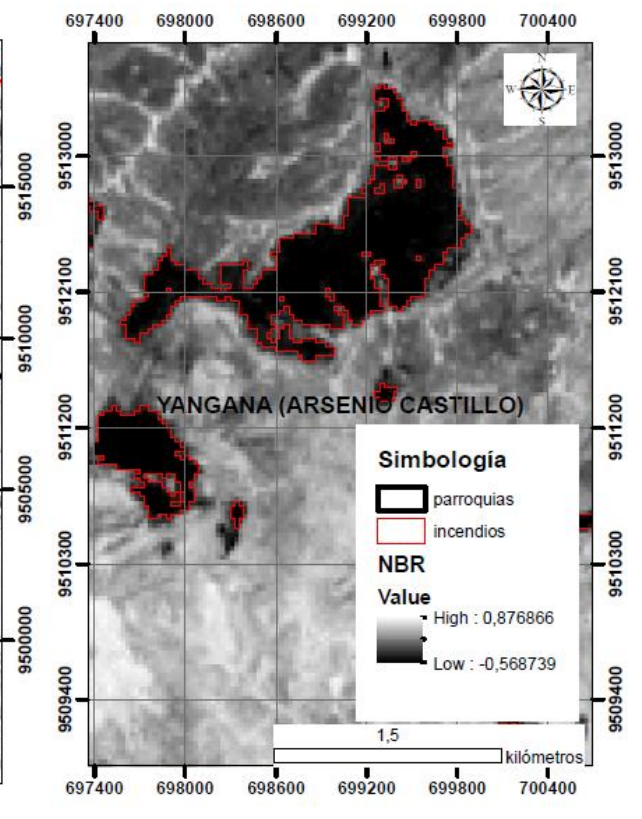
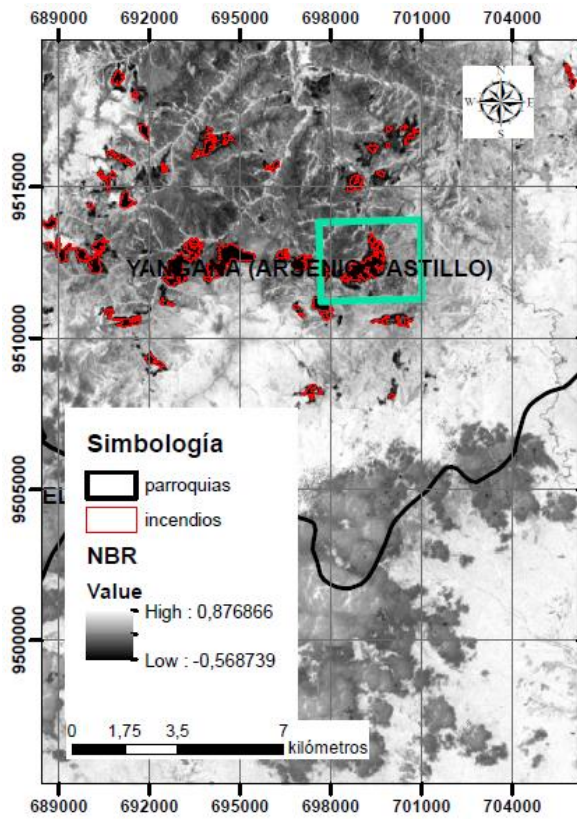
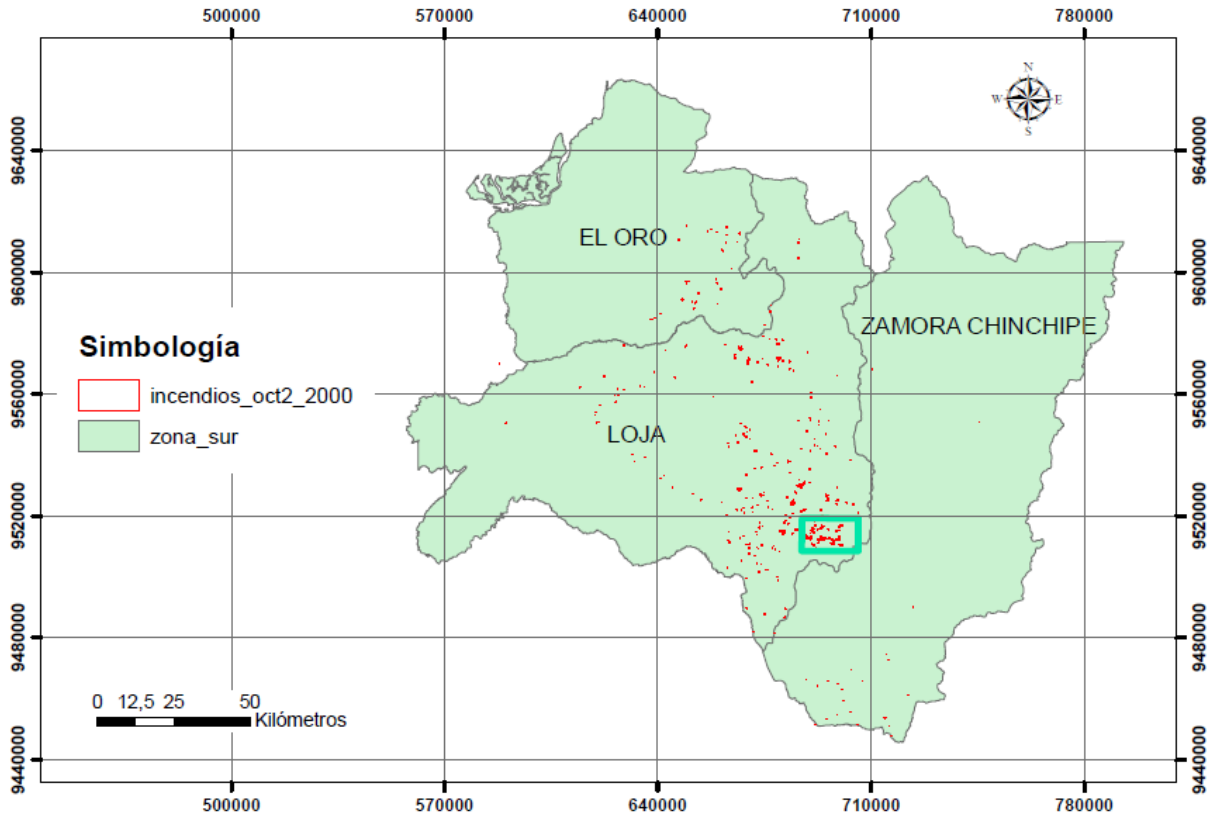
- Gandia, S., & Meliá, J. (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. Valencia: Universitat de València .
- García Mora, T. J., & Mas, J. F. (2008). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Geografía física*, 7-19.
- García, M., & Chuvieco, E. (2004). Assessment of the potential of SAC-C/MMRS imagery for mapping burned areas in Spain. *Remote Sensing of Environment*, 414-423.
- Gobierno Provincial de El Oro. (2015). *Plan desarrollo de ordenamiento territorial*. El Oro.
- Gobierno provincial de Zamora chinchipe. (s.f.). *Gobierno provincial de Zamora chinchipe*. Obtenido de Gobierno provincial de Zamora chinchipe: http://www.zamora-chinchipe.gob.ec/index.php?option=com_content&task=view&id=62
- Gómez, I., & Martín, M. (2008). Estudio Comparativo de índices espectrales para la cartografía de áreas quemadas con imágenes MODIS. *Revista de Teledetección*, 15-24.
- González Jaramillo, V., Fries, A., Rollenbeck, R., Paladines, J., Oñate Valdivieso, F., & Bendix, J. (2016). ASSESSMENT OF DEFORESTATION DURING THE LAST DECADES IN ECUADOR USING NOAA-AVHRR SATELLITE DATA. *Erdkunde*, 217-235.
- Gutierrez Claverol, M. (1993). *Teledetección geológica*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Harris, R. (1987). *Satellite Remote Sensing of Ice and Snow* . London and New York: Routledge and Kegan Paul.
- Heredia, A., Martínez, S., Quintero, E., Piñeros, W., & Chuvieco, E. (2003). Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes LADSAT ETM+. *Geofocus (Artículos)*, 216-234.
- INERHI-PREDESUR-CONADE. (1994). *Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja*. Washington D.C.: SECRETARIA GENERAL DE LA ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS.
- Instituto Geográfico Militar. (30 de Septiembre de 2006). *Instituto Geográfico Militar*. Obtenido de Instituto Geográfico Militar: http://www.igm.gob.ec/work/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1
- Kaufman, Y., & Remer, L. (1994). Detection of forests using Mid - IR reflectance: an application for aerosol studies. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 672-638.
- Landsat Science. (6 de Septiembre de 2016). *Landsat* . Obtenido de NASA: http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=4071
- Luyo, S., & Méndez, E. (2008). *Sistema de Medición de Emisividad de Cuerpos Negros y Materiales Vía*. Querétaro: Centro Nacional de Metereología.

- Martín Isabel, M., & Chuvieco Salinero, E. (1998). Cartografía de grandes incendios forestales en la península ibérica a partir de imágenes NOAA - AVHRR. *Serie geográfica*, 109-128.
- MeteoSat. (29 de Enero de 2016). *MeteoSat El tiempo en la Red*. Obtenido de sitio web de MeteoSat: <http://www.meteosat.es/>
- MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Quito: MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2005). *Plan participativo para la prevención, control de incendios forestales y manejo del fuego agrícola en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe*. Loja.
- Mora, H. (24 de Octubre de 2011). Sistemas de adquisición y procesamiento de datos. Alicante, Alicante, España.
- NOAA. (29 de 01 de 2016). NOAA. Obtenido de NOAA: <http://www.noaa.gov/satellites.html>
- Ocean Color. (31 de Marzo de 2016). *NASA's Ocean Biology Processing Group*. Obtenido de Ocean Color Web: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/SEASTAR/SPACECRAFT.html>
- Opazo, E., & Chuvieco, E. (2009). Cartografía de áreas quemadas en Sudamérica: detección de píxeles semilla. *Revista de teledetección*, 50-71.
- Pérez Gutierrez, C., & Muñoz Nieto, Á. L. (2006). *Teledetección: Nociones y Aplicaciones*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- R., S., X., P., & F., D. (1996). Validación de un método de corrección radiométrica sobre diferentes áreas montañosas. *Revista de Teledetección*, 1-5.
- Sobrino, J. A. (2000). *Teledetección*. Valencia: Universidad de Valencia.
- U.S. Department of the Interior. (27 de Noviembre de 2013). *U.S. Geological Survey*. Obtenido de U.S. Geological Survey: <http://landsat.usgs.gov>
- U.S. Department of the Interior. (6 de Agosto de 2016). *USGS*. Obtenido de USGS: <http://earthexplorer.usgs.gov>
- Vélez, R. (2000). *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Madrid: McGraw-Hill.
- Verdú, F., & Salas, J. (2010). Cartografía de áreas quemadas mediante análisis visual de imágenes de satélite en la España peninsular para el periodo 1991-2005. *Geofocus*, 54-81.
- Villers Ruiz, L., & López Blanco, J. (2004). *Incendios Forestales en México*. Distrito Federal: D.R. Universidad nacional autónoma de México.

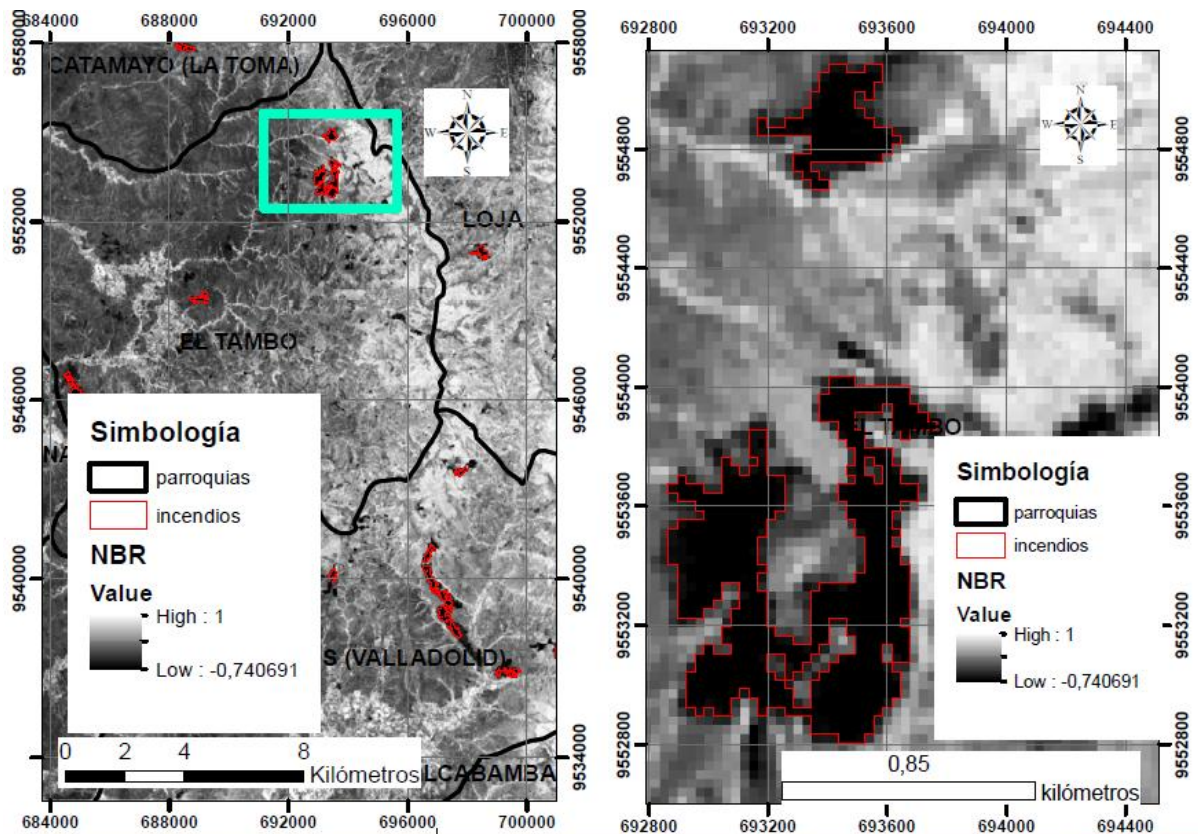
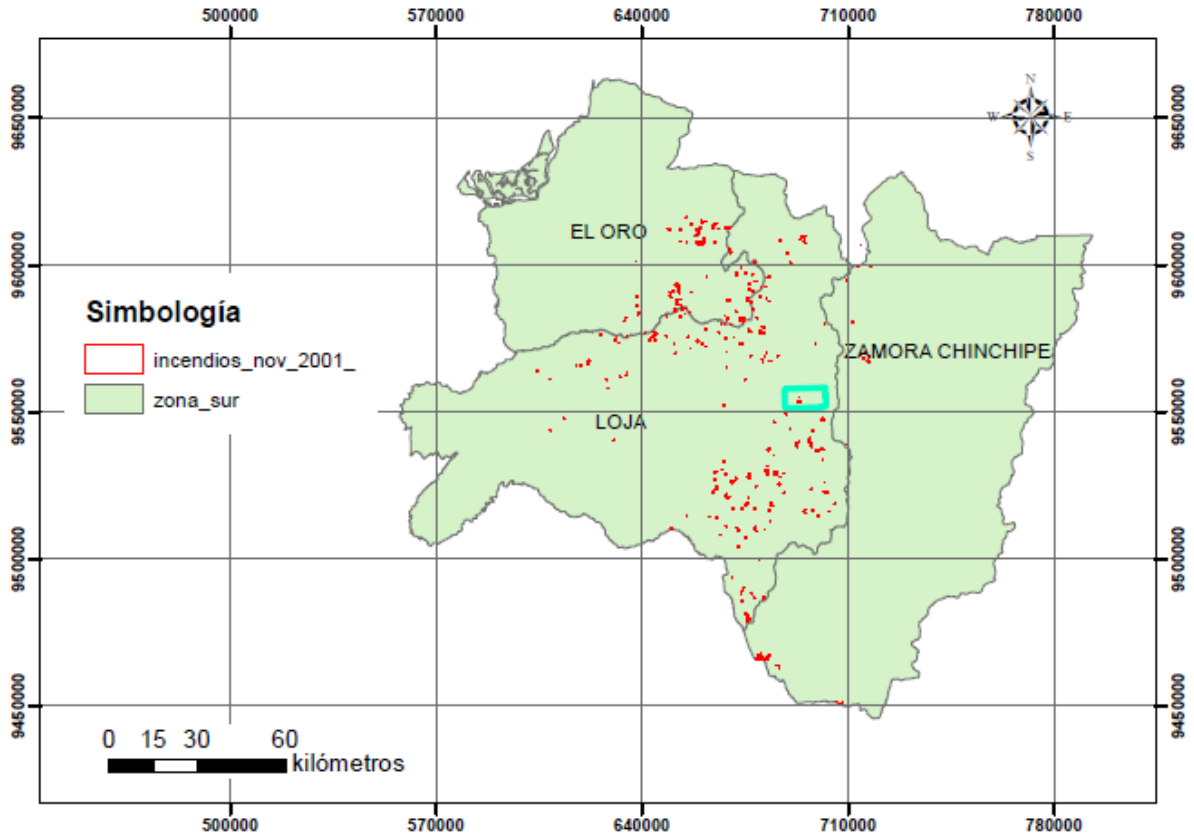
Wong González, J. C., & Villers Ruíz, M. (2007). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. *Investigaciones Geográficas*, 87-103.

ANEXOS

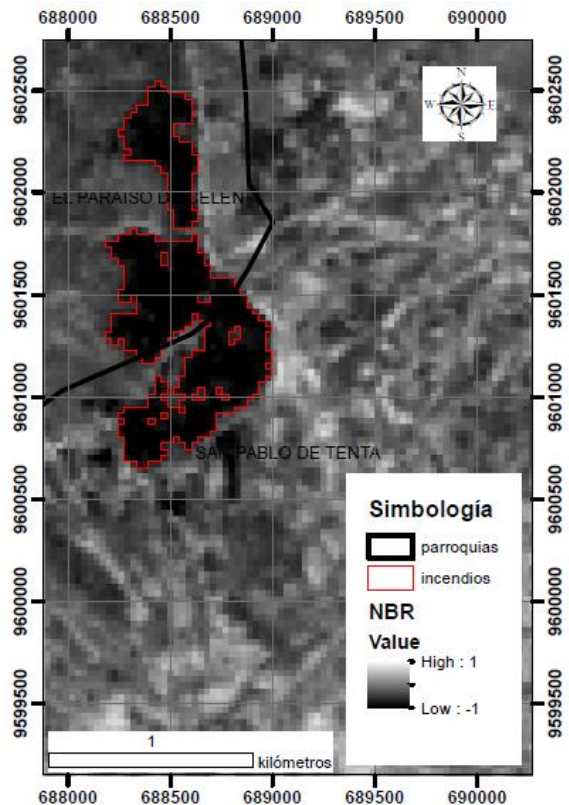
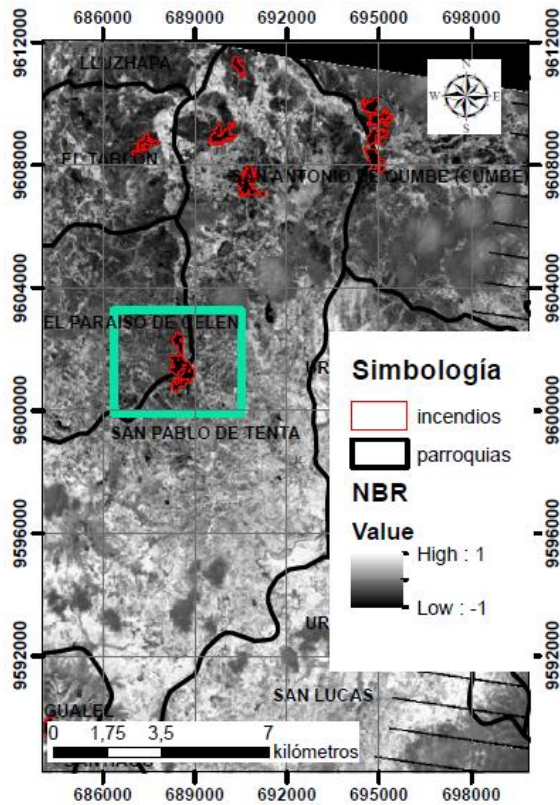
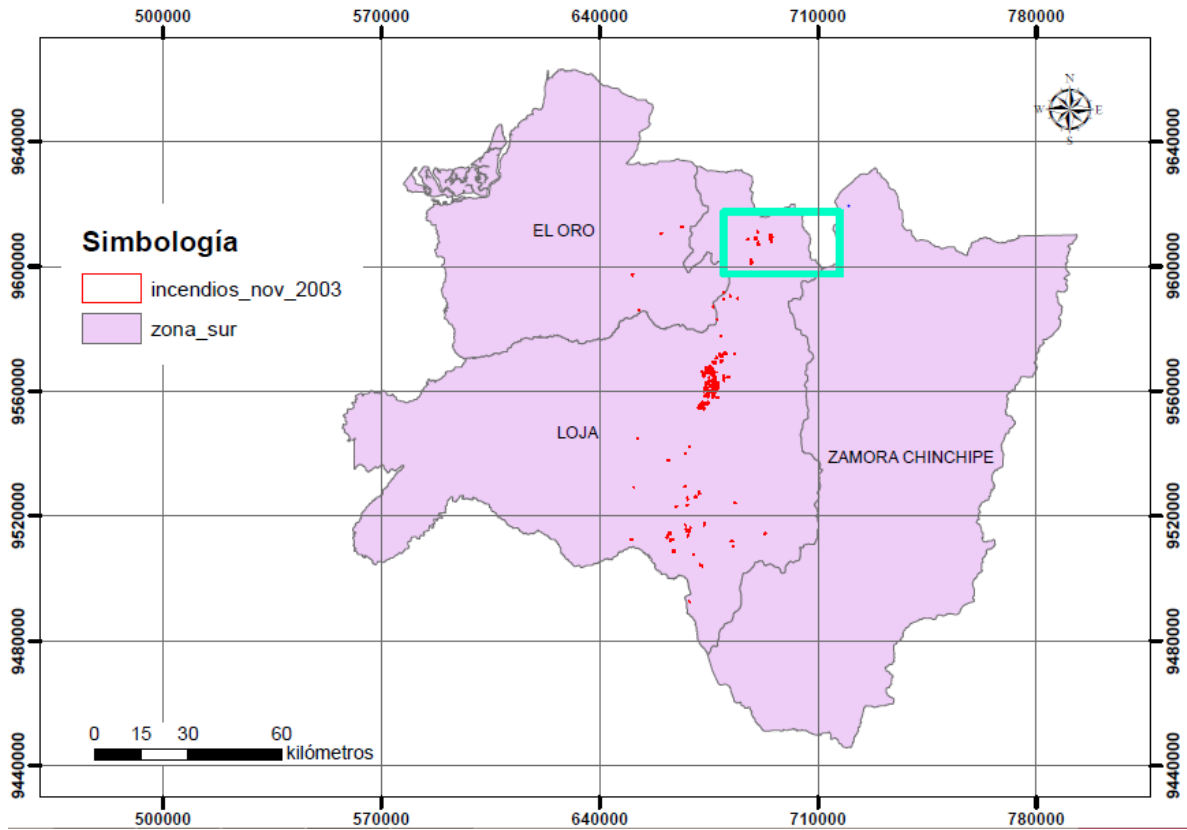
1. Cartografía de incendios forestales 2000.



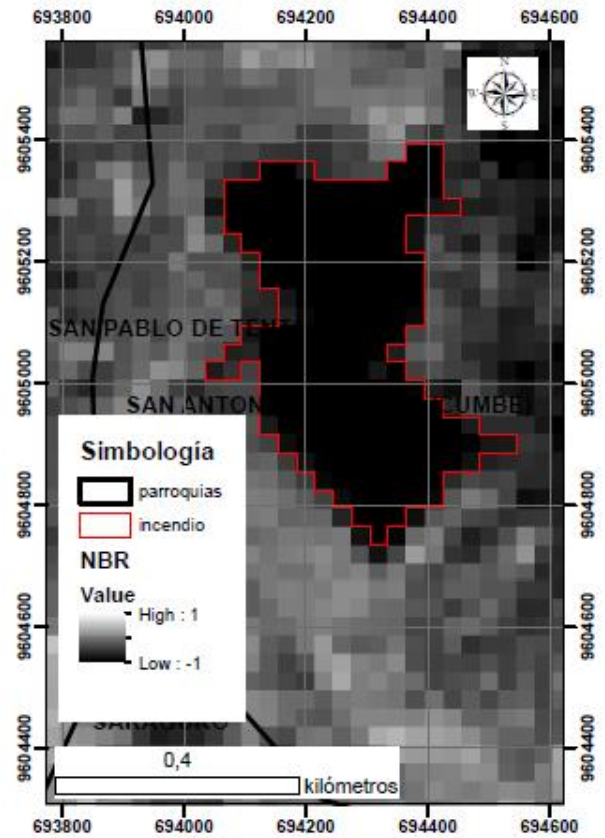
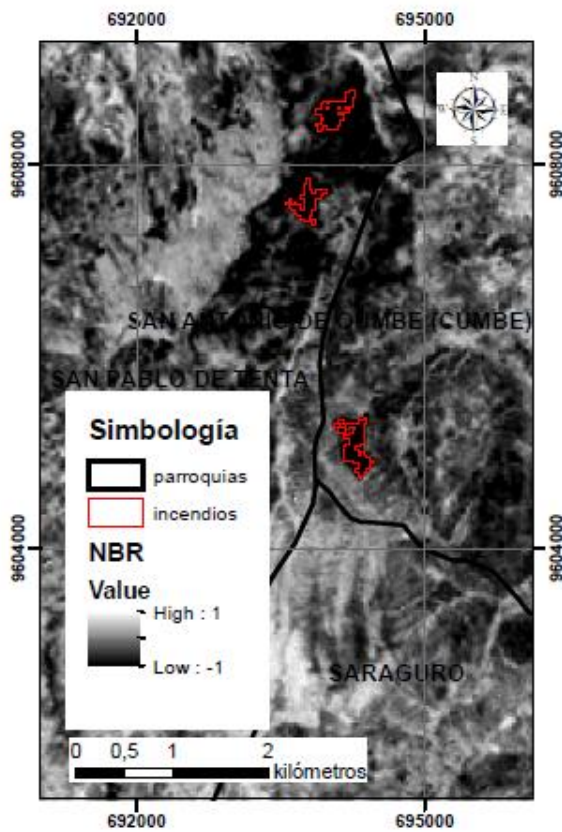
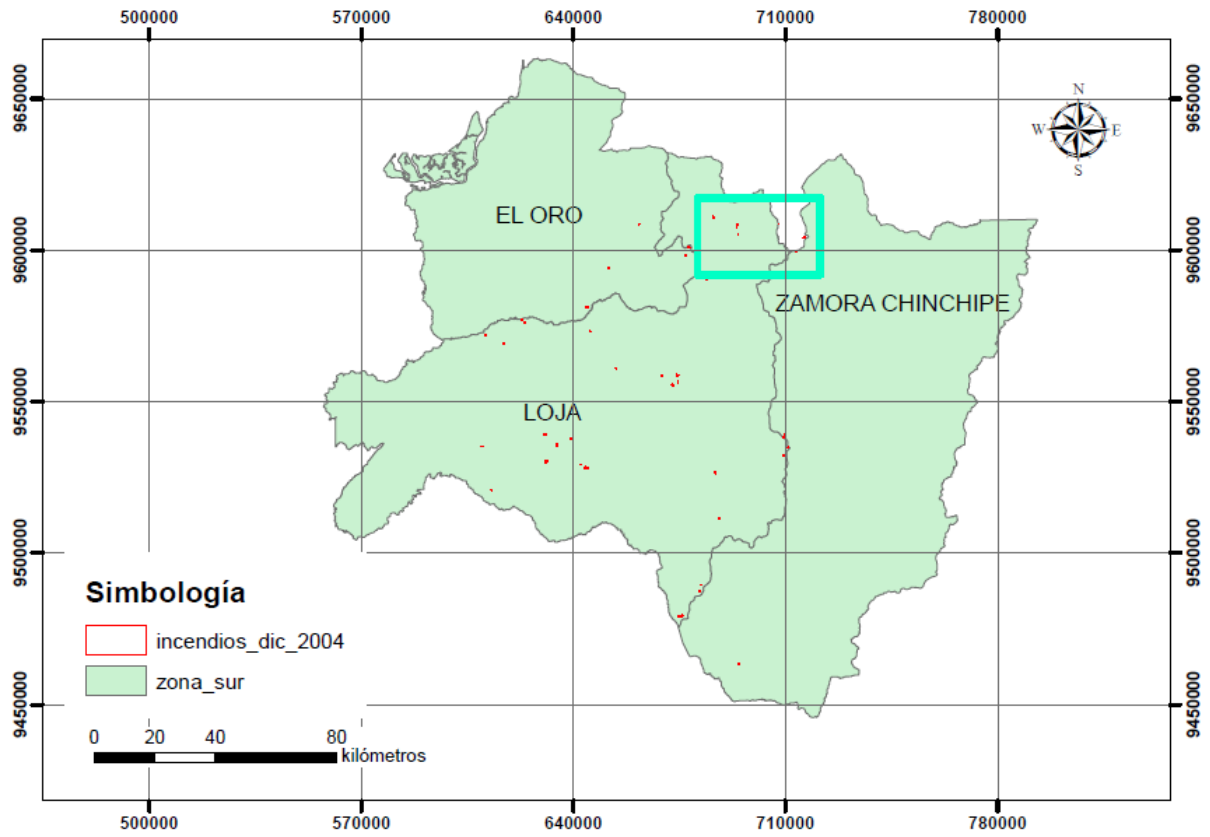
2. Cartografía de incendios forestales 2001.



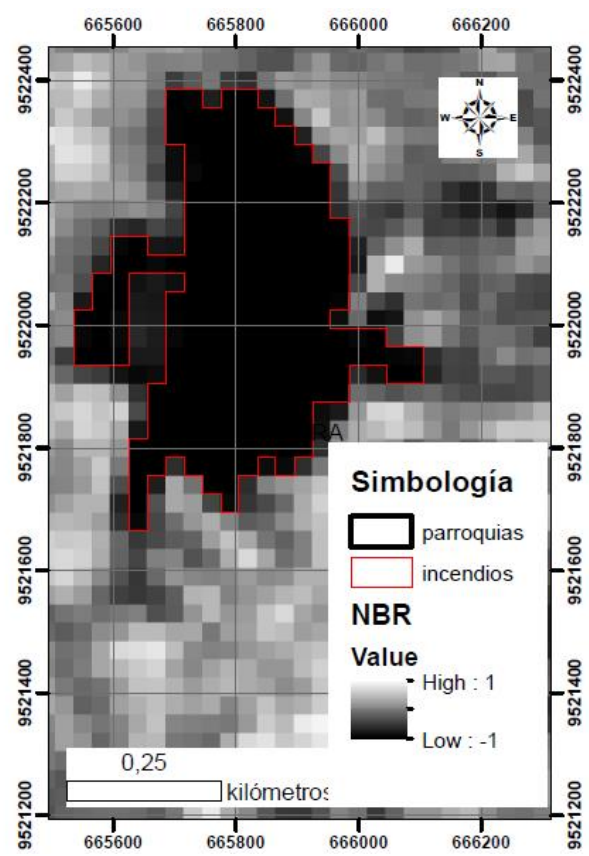
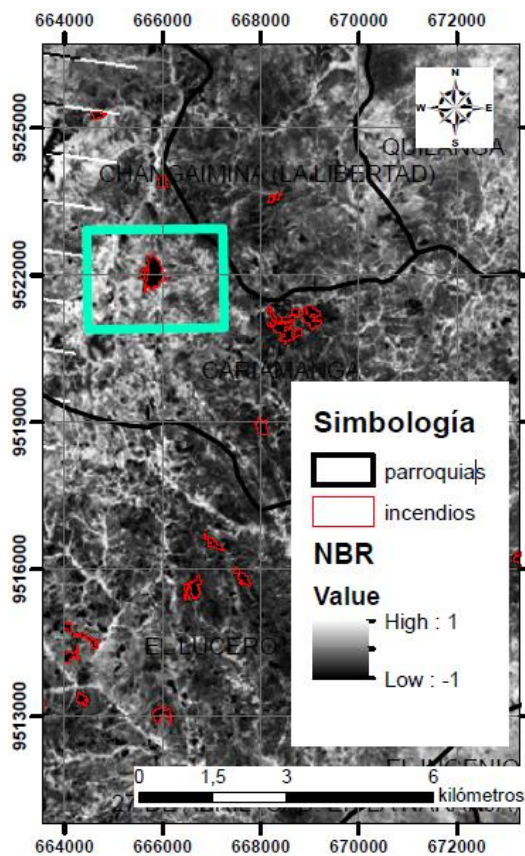
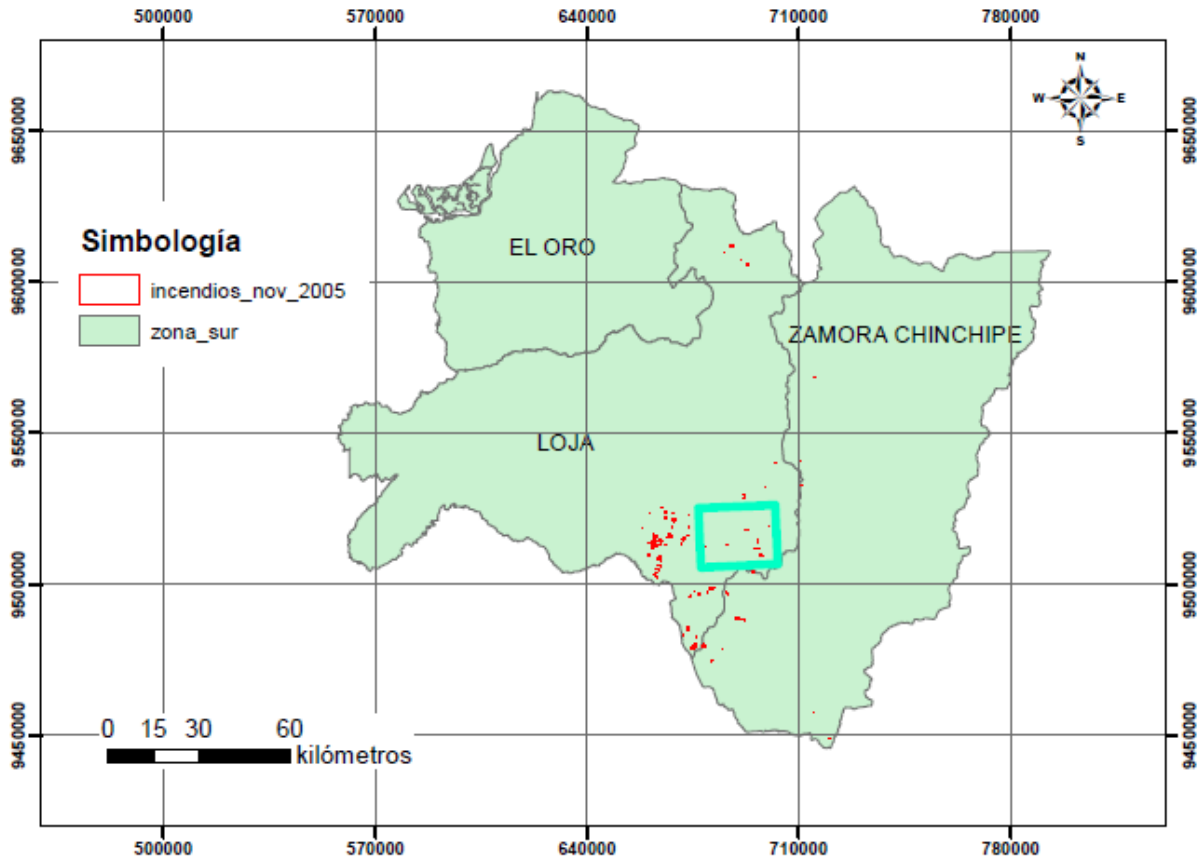
3. Cartografía de incendios forestales 2003.



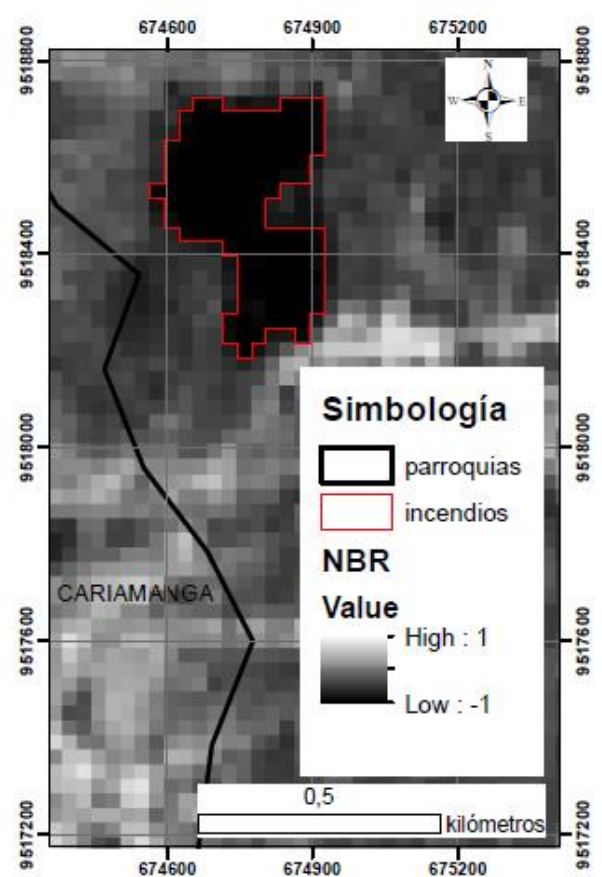
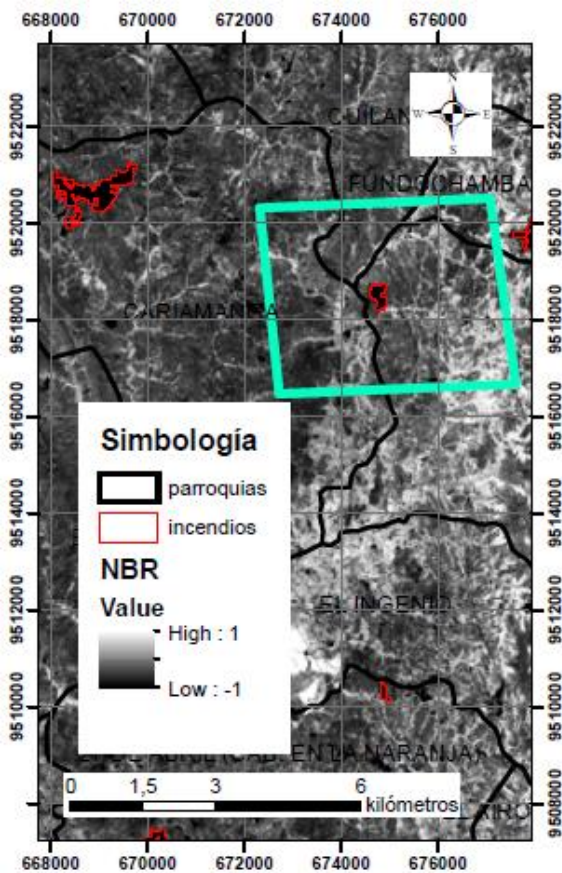
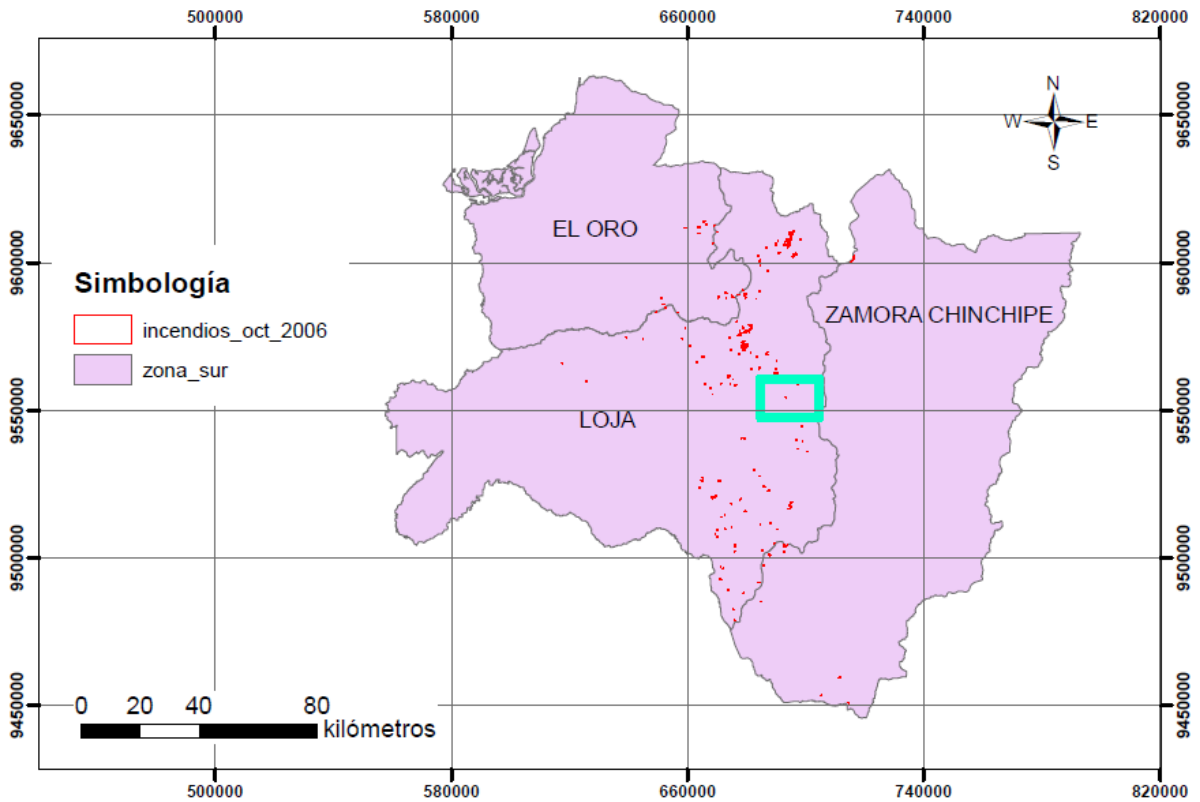
4. Cartografía de incendios forestales 2004.



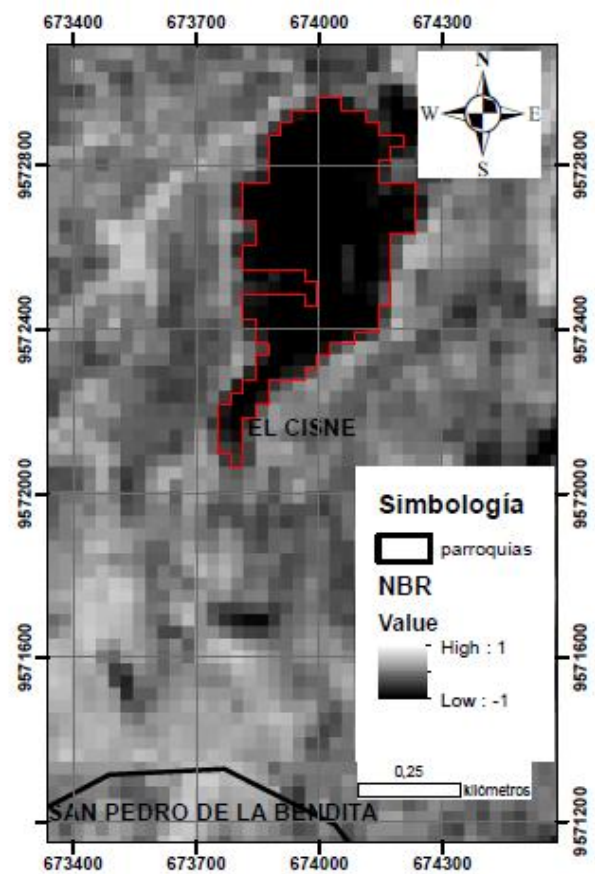
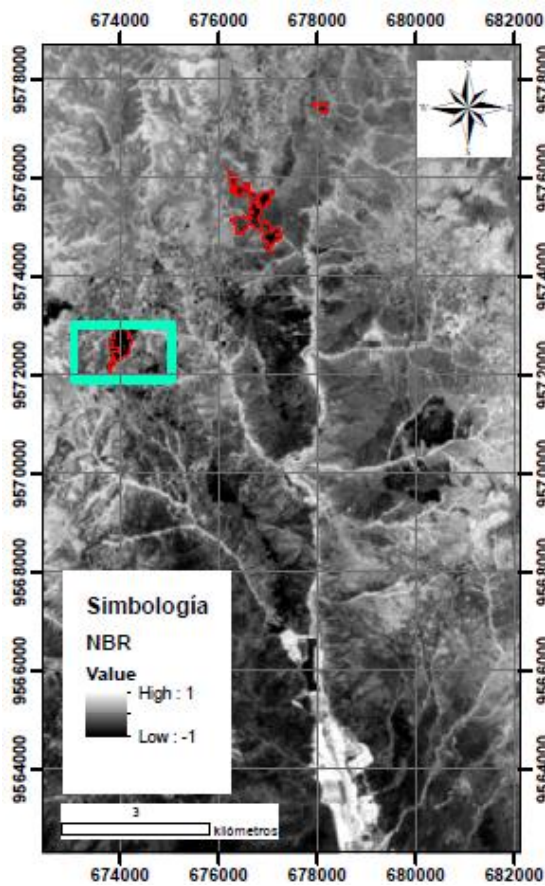
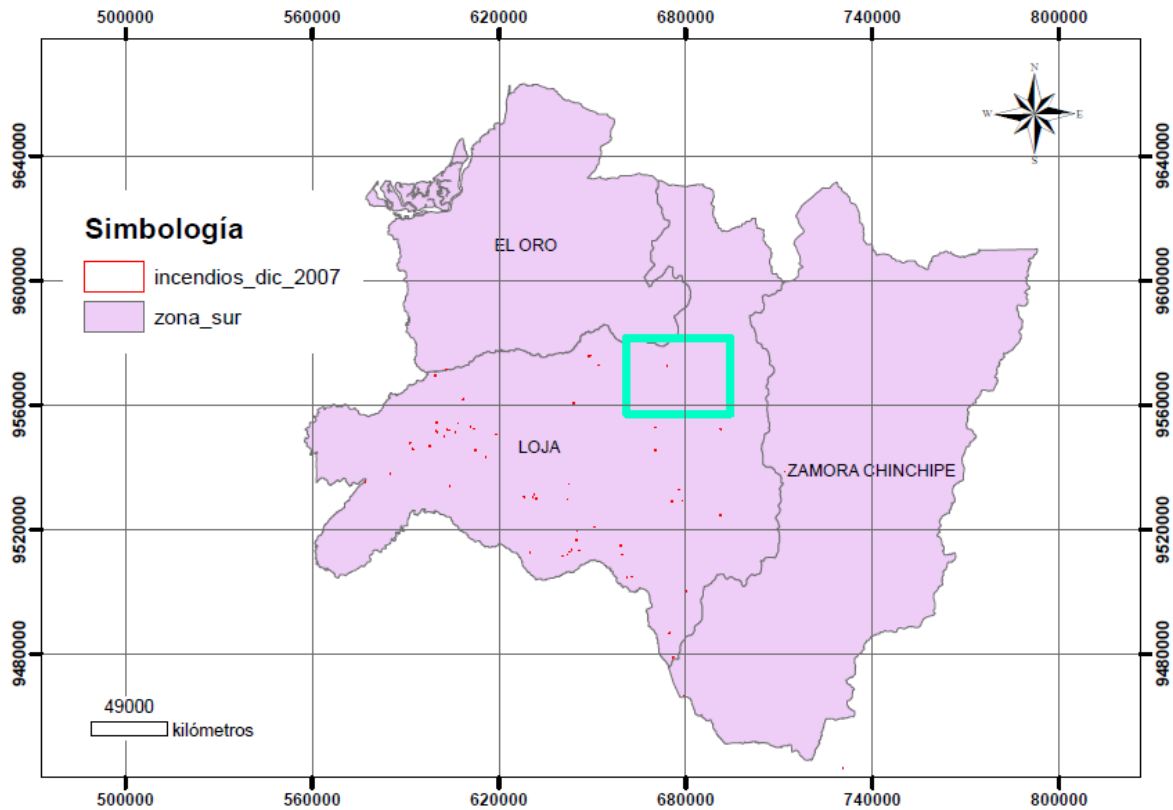
5. Cartografía de incendios forestales 2005.



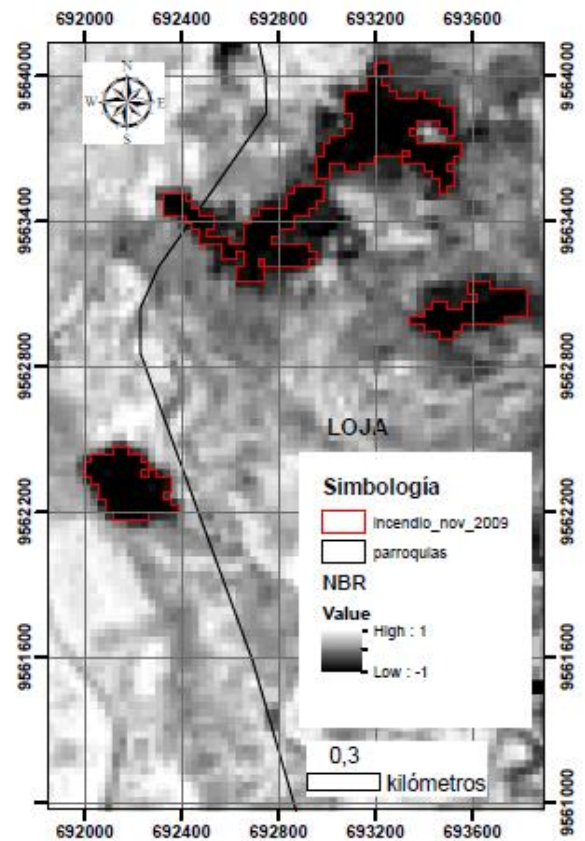
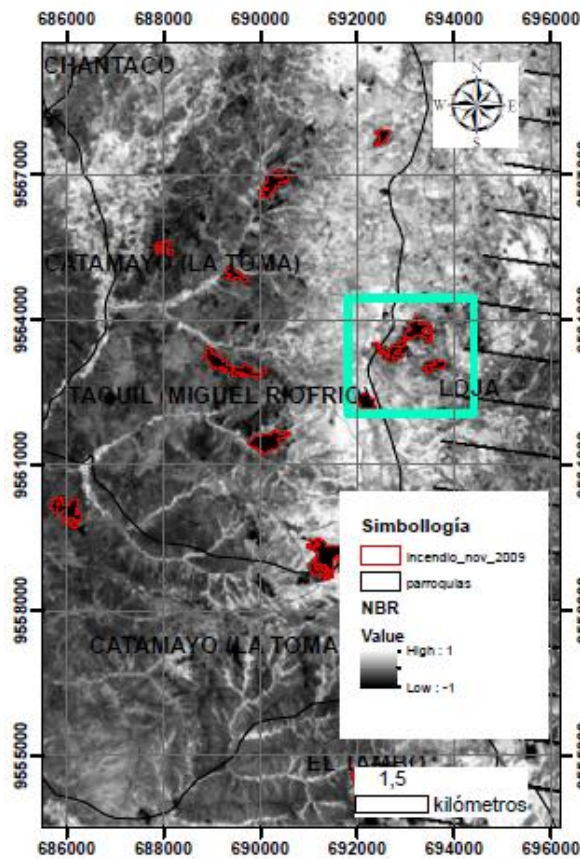
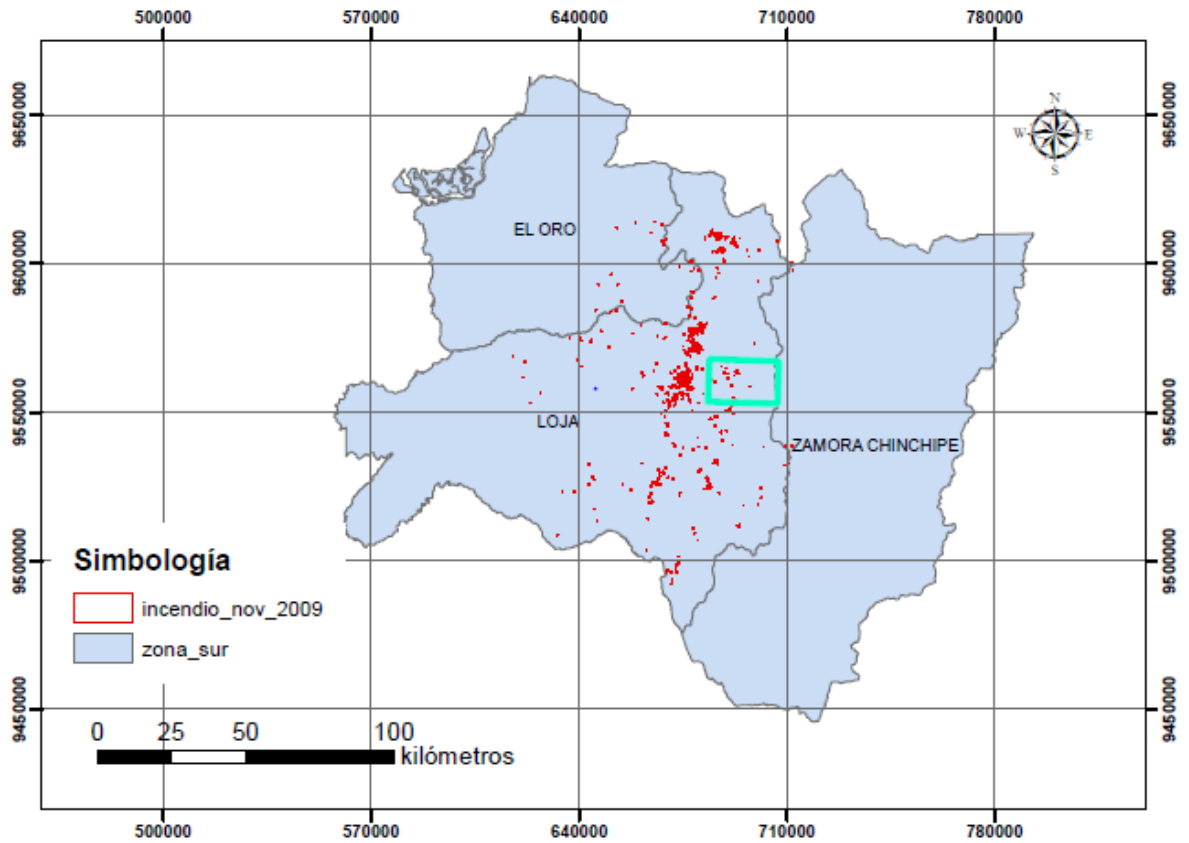
6. Cartografía de incendios forestales 206



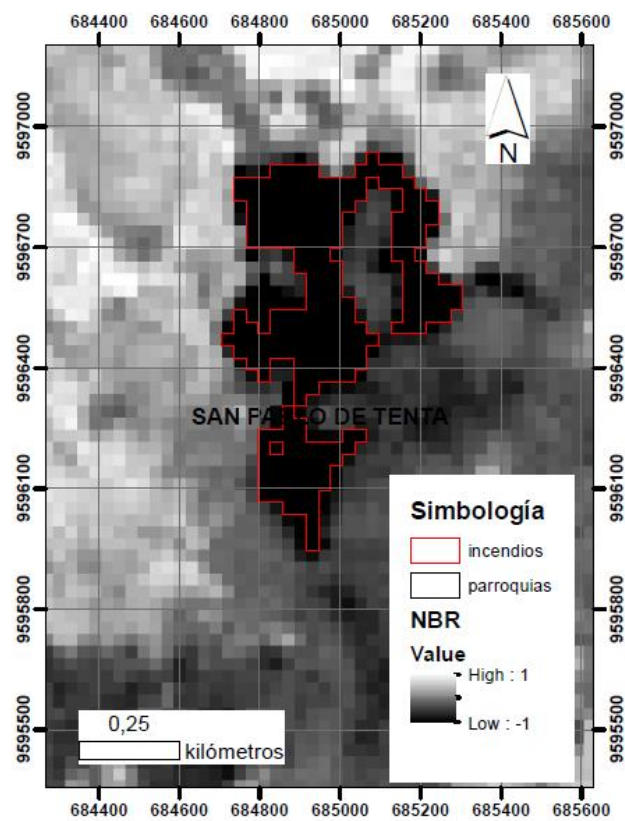
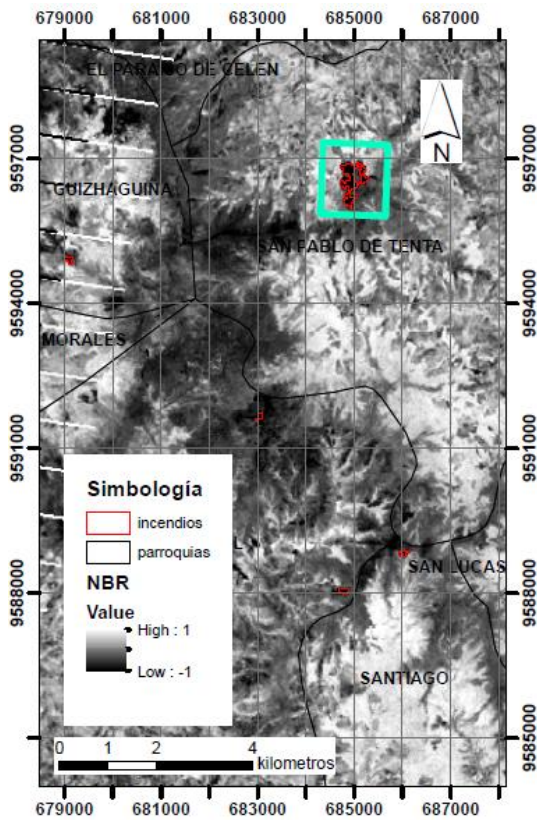
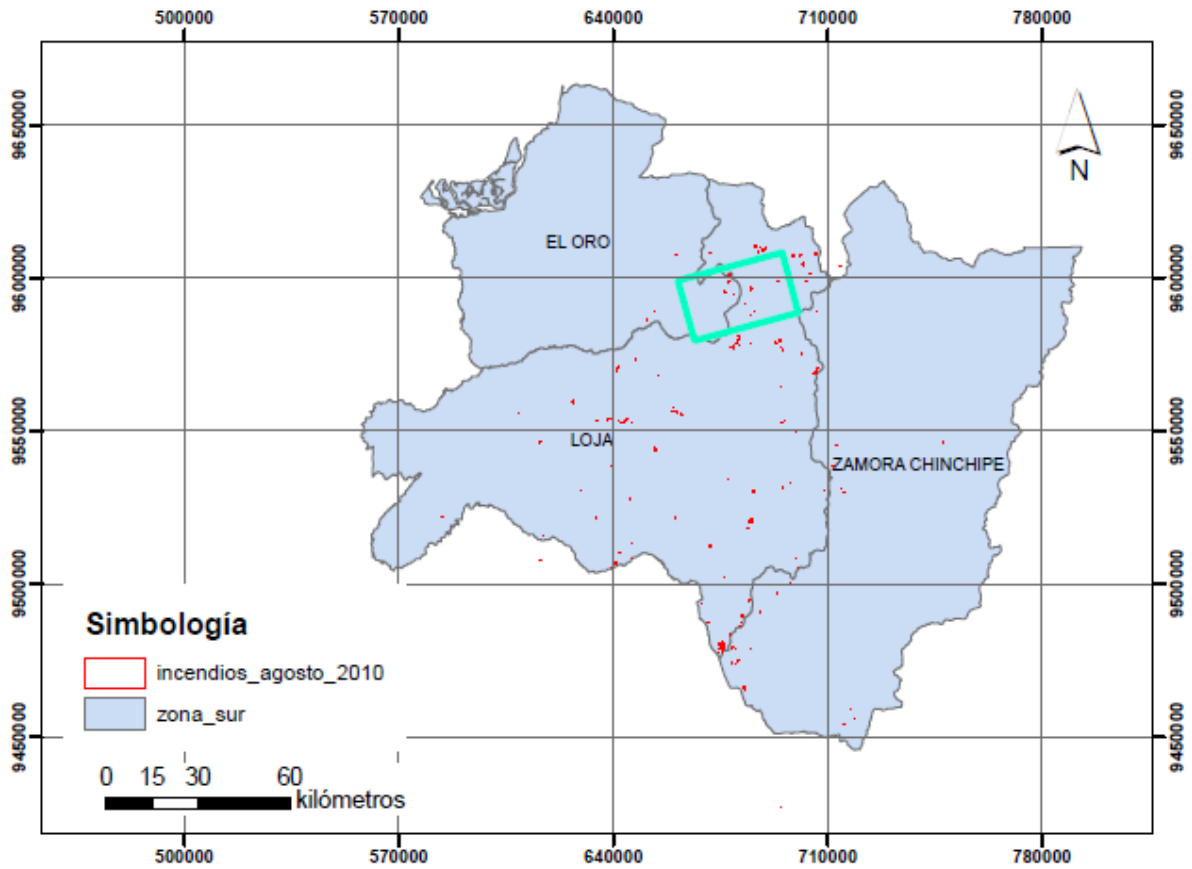
7. Cartografía de incendios forestales 2007



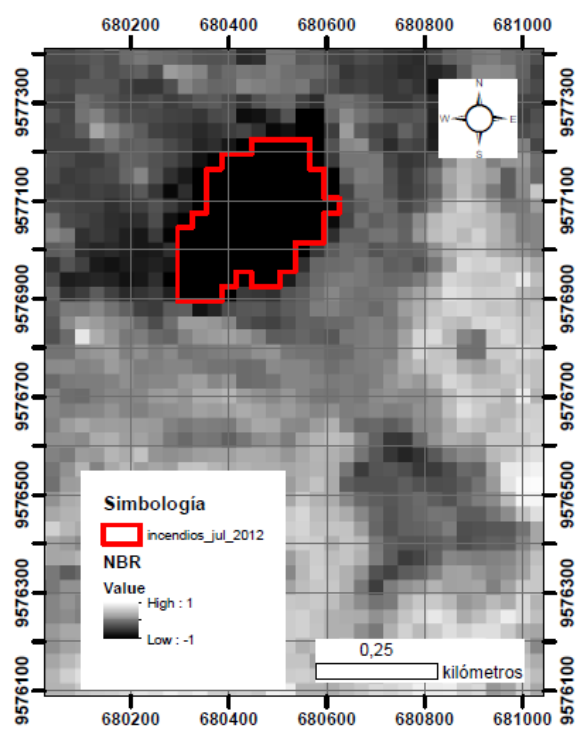
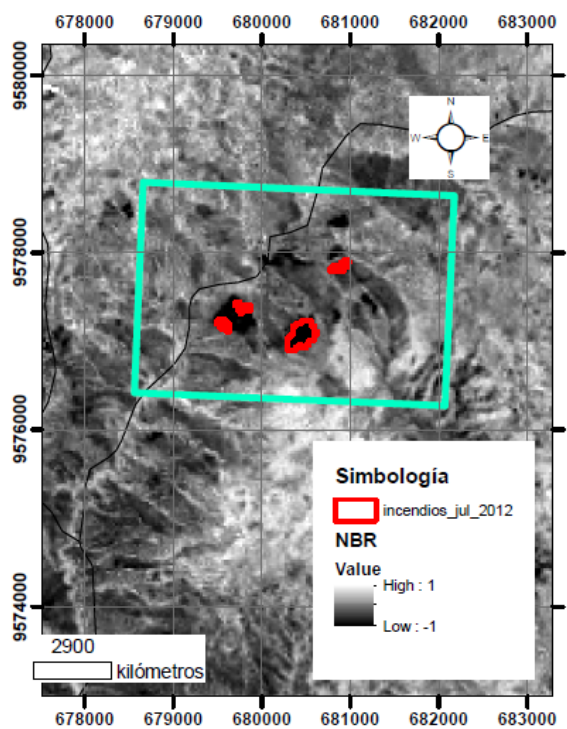
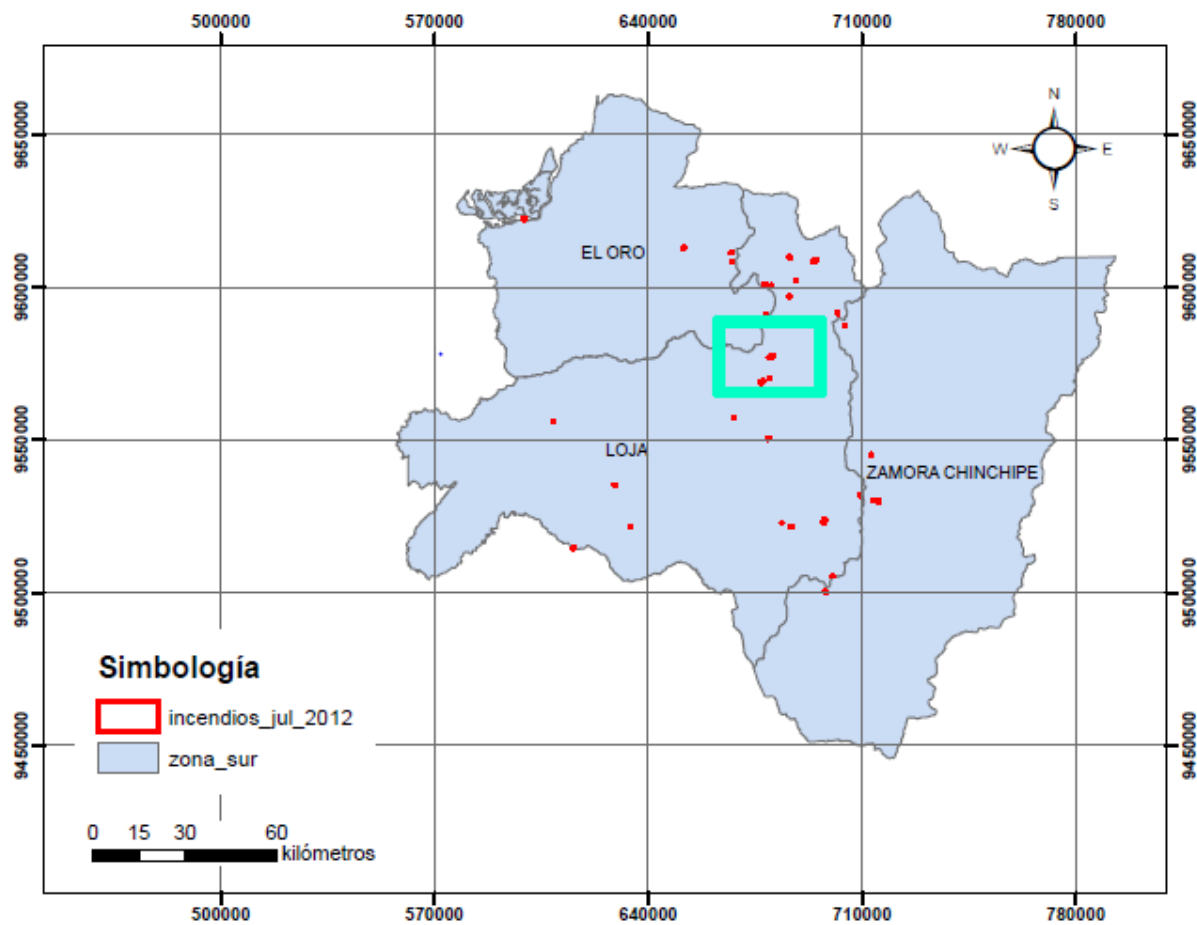
8. Cartografía de incendios forestales 2009



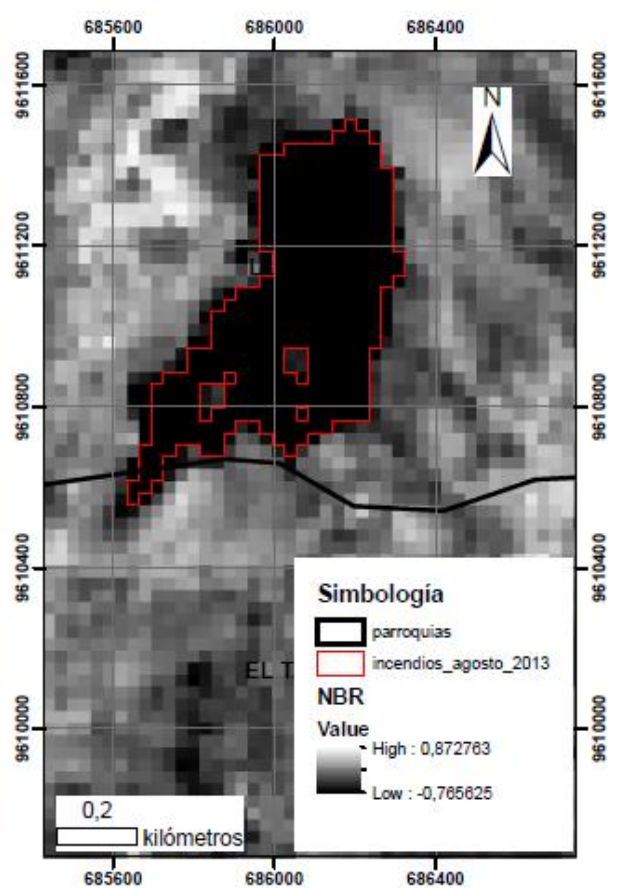
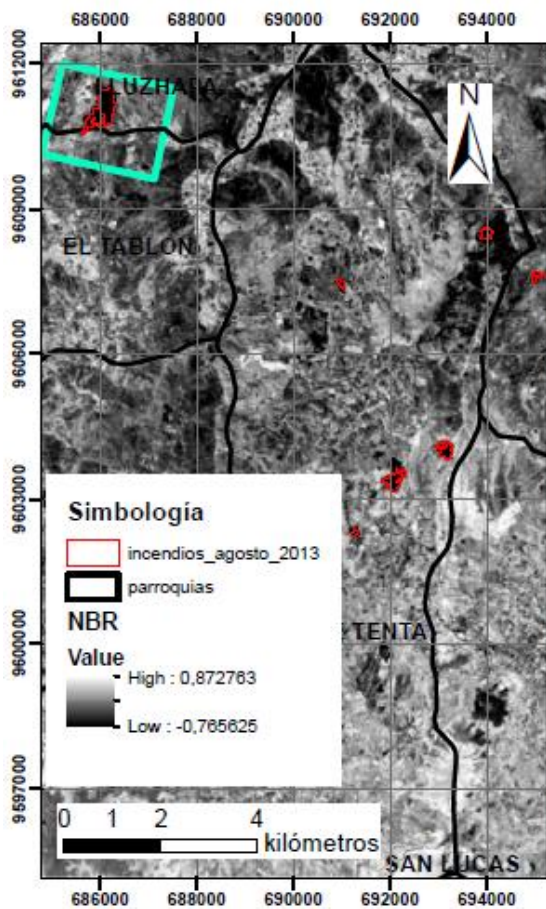
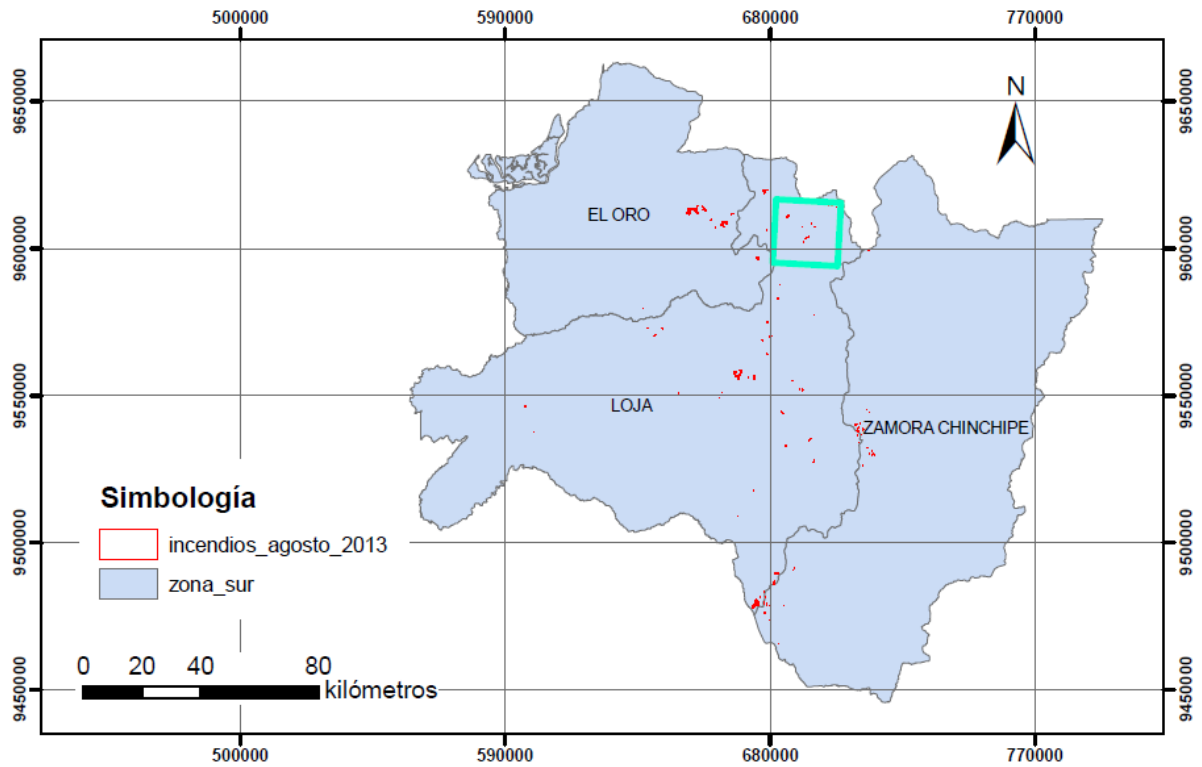
9. Cartografía de incendios forestales 2010



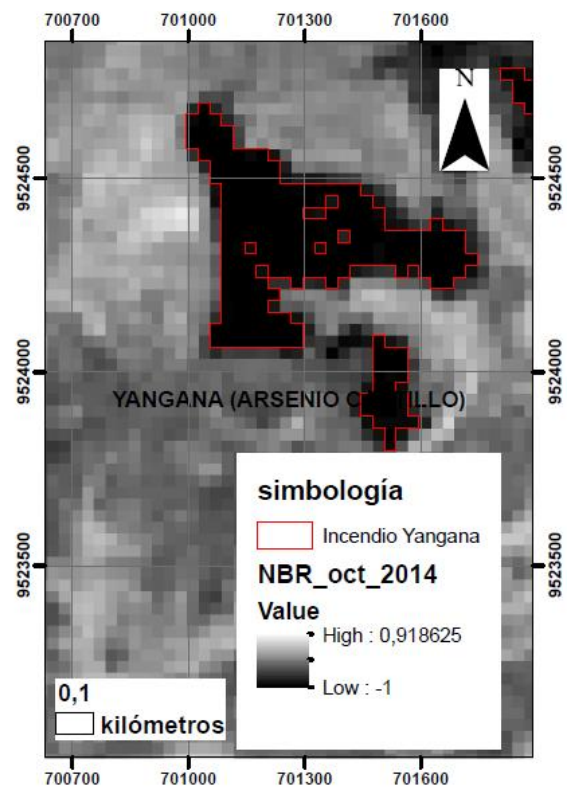
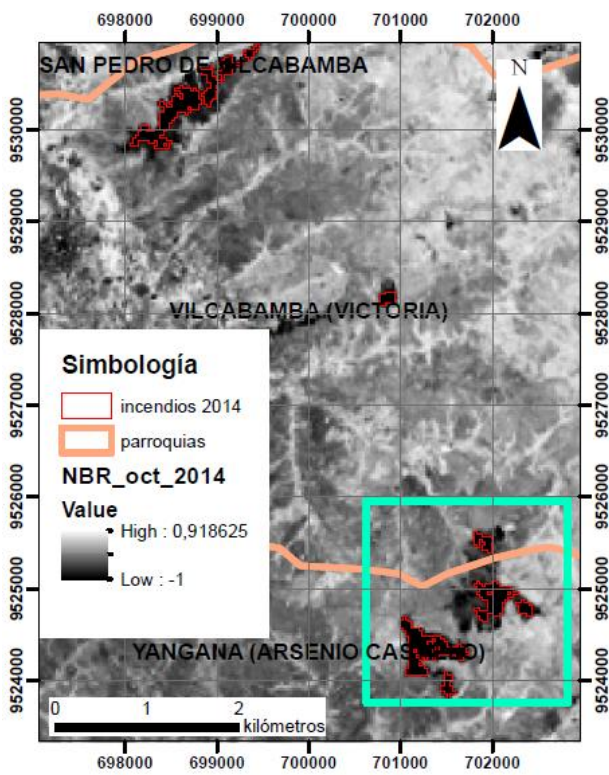
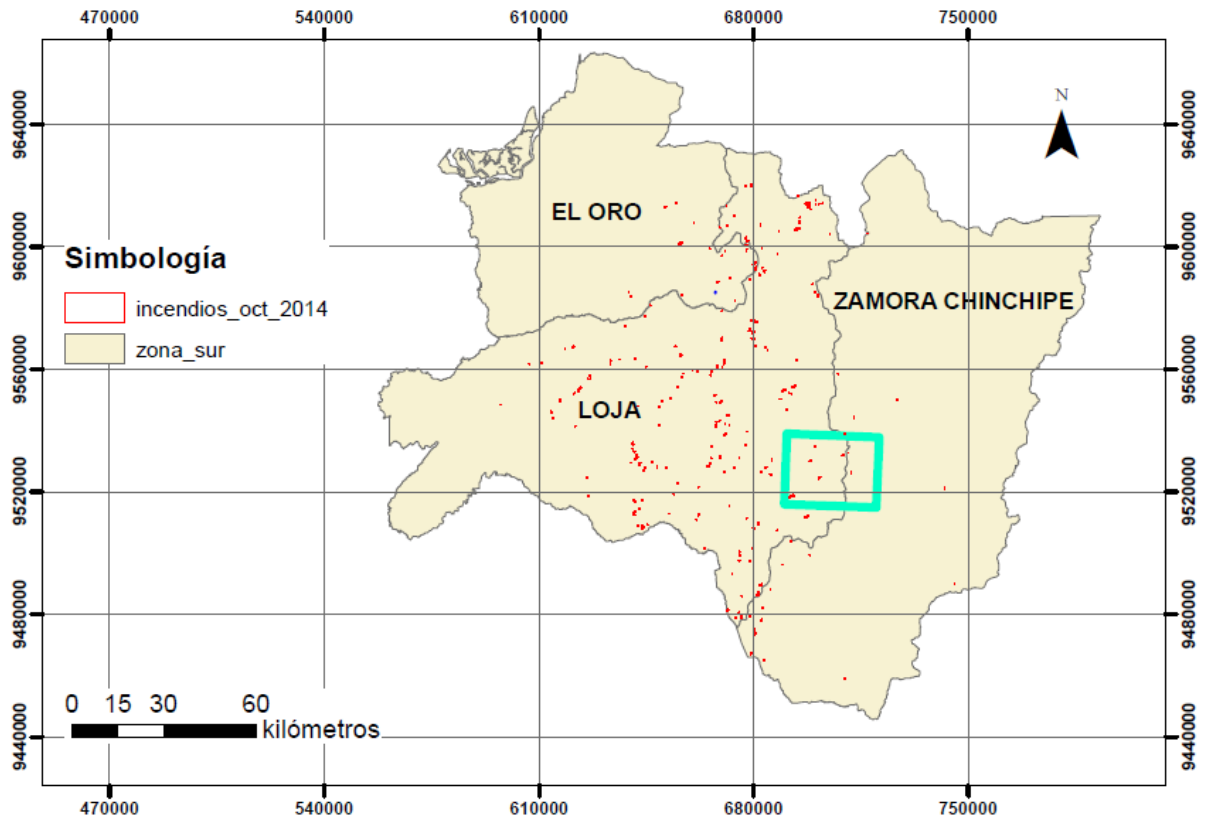
10. Cartografía de incendios forestales 2012



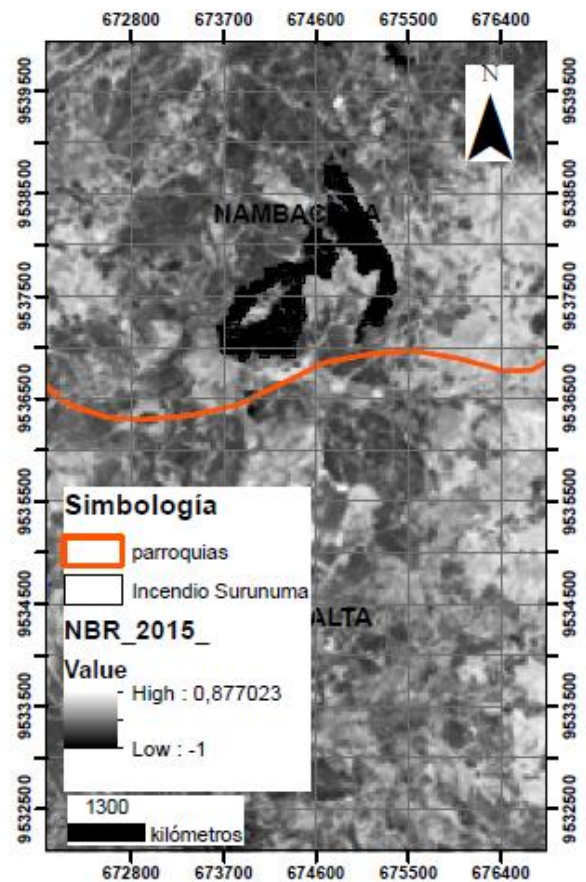
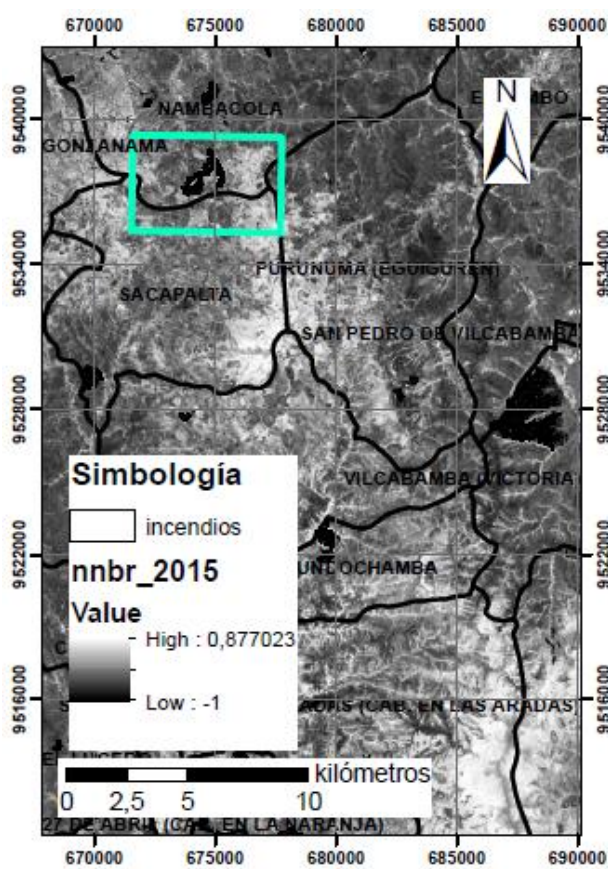
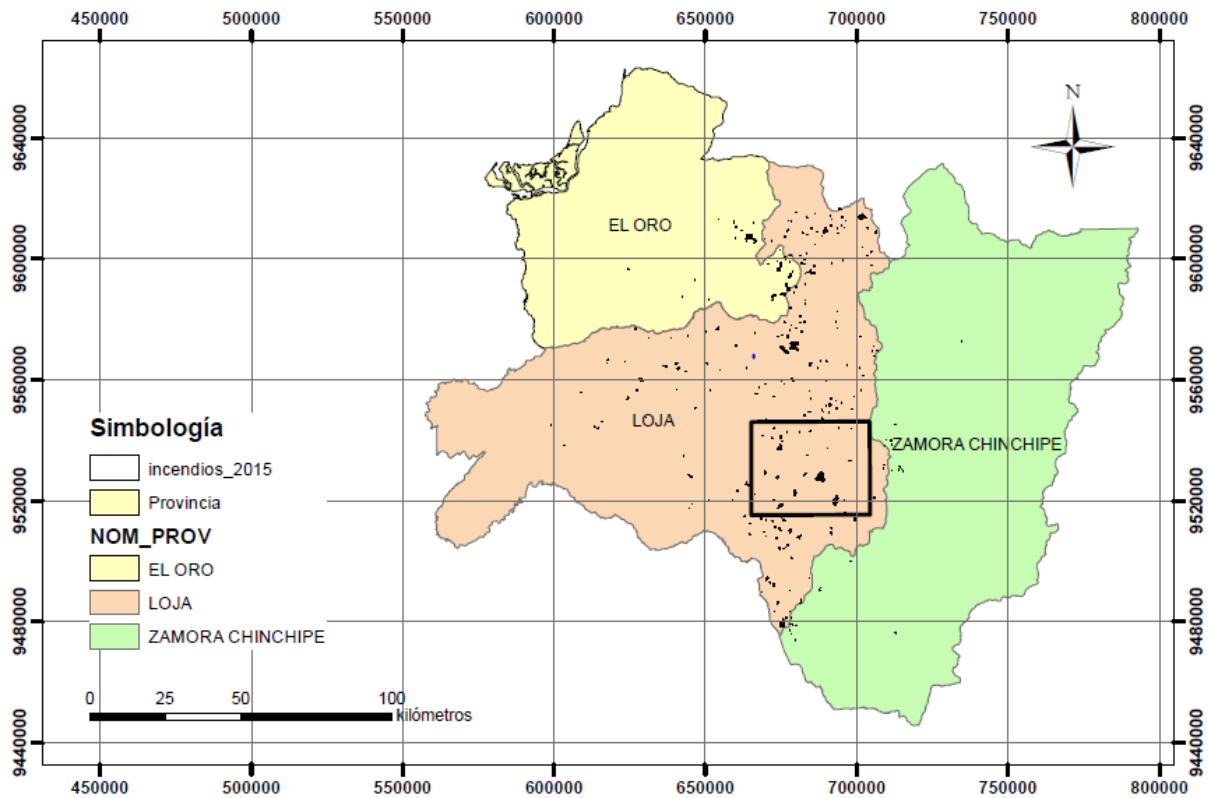
11. Cartografía de incendios forestales 2013



12. Cartografía de incendios forestales 2014



13. Cartografía de incendios forestales 2015



14. Inventario de incendios forestales año 2000

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTON	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	INCENDIO	DETECCIÓN
La Quinta	Loja	Cantacocha	Paltas	24/10/2000		S.I	Indetectado
Yaguana	Loja	Yangana	Loja	31/10/2000	40	pequeño	Indetectado
Fátima	Loja	El Valle	Loja	nov-00	38,91	pequeño	Detectado
La Palma	Loja	San Sebastián	Loja	nov-00	87,68	mediano	Detectado
La Quinta Fátima	Loja	Loja	Loja	01/11/2000		S.I	Nubes
Anganuma	Loja	Yangana	Loja	04/11/2000	120	mediano	Detectado
La Argelia	Loja	Loja	Loja	04/11/2000		S.I	Detectado
Zamora Huayco	Loja	Loja	Loja	04/11/2000		S.I	Detectado
Duraznillo	Loja	Sucre	Loja	06/11/2000	63,65	mediano	Nubes
Duraznillo	Loja	Sucre	Loja	06/11/2000	25	pequeño	Nubes
Duraznillo	Loja	Sucre	Loja	06/11/2000	27	pequeño	Nubes
La Primavera	Loja	San Sebastián	Loja	06/11/2000	70,62	mediano	Detectado
El Porvenir	Loja	San Sebastián	Loja	06/11/2000	61,31	mediano	Detectado
Chariguiña	Loja	Urdaneta	Saraguro	06/11/2000	200	mediano	Nubes
Yunango	Loja	Malacatos	Loja	06/11/2000	450,38	mediano	Detectado
Rumicorral	Loja	Sucre	Loja	08/11/2000	40	pequeño	Nubes
Maco	Loja	Yangana	Loja	10/11/2000	40	pequeño	Detectado
Chiguanco Grande	Loja	Yangana	Loja	10/11/2000	50	pequeño	Detectado
Camino Nuevo	Loja	Yangana	Loja	10/11/2000	200	mediano	Detectado
La Palmira	Loja	Yangana	Loja	10/11/2000	2.000	grande	Detectado
Laguna Patos	Loja	Jimbura	Espíndola	10/11/2000	100	mediano	Detectado
Lanzaca	Loja	Changaimina	Gonzanamá	10/11/2000	80	mediano	Detectado
Sta. Rosa	Loja	Las Aradas	Quilanga	10/11/2000	300	mediano	Detectado
Pindo Tarapo	Loja	Nambacola	Gonzanamá	10/11/2000	25	pequeño	Detectado
Anganuma	Loja	Quilanga	Quilanga	10/11/2000	210	mediano	Detectado
Sta. Rosa	Loja	Las Aradas	Quilanga	10/11/2000	200	mediano	Detectado
Z. Huayco	Loja	S.Sebastián	Loja	11/11/2000	59,75	mediano	Nubes
Quebrada El Volcan	Loja	El Valle	Loja	12/11/2000	31,67	pequeño	Nubes
Cachaco	Loja	Yangana	Loja	12/11/2000	200	mediano	Detectado
Entre Aganuma y Cachaco	Loja	Yangana	Malacatos	12/11/2000	1000	grande	Detectado

Valle de Cofradia al pie del Shiriculapo	Loja	Catacocha	Paltas	13/11/2000			S.I	Indetectado
--	------	-----------	--------	------------	--	--	-----	-------------

15. Inventario de incendios forestales año 2001

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO	DETECCIÓN
Turunuma	Loja	Loja	Loja	30/11/2001		tarde	S.I.	Nubes
Los Faiques	Loja	El sagrario	Loja	22/08/2001		15:30	S.I.	Nubes
La Y de la via Loja - Catamayo	Loja		Loja	19/08/2001			S.I.	Nubes

16. Inventario de incendios forestales año 2002

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTON	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
Los Faiques	Loja	El Sagrario	Loja	24/09/2002		19:00	S.I.
Barrio Yaguarcuna sobre el monumento a la cruz	Loja			29/09/2002		tarde	S.I.

17. Inventario de incendios forestales año 2003

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTON	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
Cuenca alta de jipiro	Loja	El Valle	Loja	22/08/2003		Mañana y tarde	S.I
Bosques Protectores de Chinchipe	Zamora Chinchipe	Pucamba y Chito	Chinchipe	21/08/2003			S.I
Bosque Carboncillo a 20 Km de Saraguro	Loja	Saraguro	Saraguro	21/11/2003	700		grande

18. Inventario de incendios forestales año 2004

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
Bosque protector de Catacocha	Loja	Catacocha	Paltas	03/08/2004	1		S.I.
Santa Marianita	Loja	Loja	Loja	05/08/2004	2		S.I.
La quinta de Fatima	Loja	Catacocha	Loja	13/08/2004	3		S.I.
Cerro de Yangana	Loja	Malacatos	Loja	25/08/2004	4		S.I.
San Cayetano	Loja	Loja	Loja	28/08/2004	5	16:45	S.I.
Cerro Yumanga	Loja	Malacatos	Loja	26/08/2004	6		S.I.
Celica	Loja	Celica	Celica	26/08/2004	7		S.I.
Zapotillo	Loja	Zapotillo	Zapotillo	26/08/2004	8		S.I.
Catamayo	Loja	Catamayo	Catamayo	26/08/2004	9		S.I.
Calvas	Loja	Calvas	Cariamanga	26/08/2004	10		S.I.
Macara	Loja	Macara	Macara	26/08/2004	11		S.I.

19. Inventario de incendios forestales año 2005

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
Zamora Huayco Alto	Loja	Loja	Loja	23/08/2005		11:00	S.I.
Saraguro	Loja	Saraguro	Saraguro	29/08/2005			S.I.
Villonaco	Loja	Loja	Loja	29/08/2005			S.I.
El Plateado	Loja	Loja	Loja	29/08/2005			S.I.
Vilcabamba	Loja	Loja	Loja	29/08/2005			S.I.
Gonzanama	Loja	Gonzanamá	Gonzanamá	29/08/2005	400		mediano
Colambo y Chambarango	Loja	Gonzanamá	Gonzanamá	16/09/2005	500		mediano
Km 6 de la vía Zamora Chinchipe a 10m. Del club nocturno Texas	Loja	Loja	Loja	25/09/2005			S.I.

Las minas tras el barrio Zamora Huayco	Loja	Loja	Loja	21/10/2005		15:30	S.I.
La quebrada Nomanda hasta la quebrada San Simón	Loja	Loja	Loja	08/10/2005	100		mediano
Zamora Huayco alto en la montaña del Carmen	Loja	Loja	Loja	24/11/2005	100		mediano

20. Inventario de incendios forestales año 2006

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
San Cayetano cerca de la ersa	Loja	Loja	Loja	16/09/2006	4	11:00	pequeño
Parque botanico de la UNL	Loja	Loja	Loja	29/09/2006		13:00	S.I
Cerro de Ventanas hasta tierra coloradas	Loja	Loja	Loja	17/10/2006	100	mañana	mediano
Cerro Huachichambo	Loja	Loja	Loja	17/10/2006	300		mediano
Rodriguez Witt	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I
Via a Catamyo	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I
Vía a Cuenca	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I
Vía a Zamora	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I
Seminario Mayor	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I
Zalapa	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I

Por el relleno sanitario	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I
Tierras Coloradas	Loja	Loja	Loja	17/10/2006			S.I

21. Inventario de incendios forestales año 2007

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTON	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
Villonaco	Loja	Loja	Loja	22/09/2007			S.I.
Yahuarcona	Loja	Loja	Loja	22/09/2007			S.I.
El Capulí	Loja	Loja	Loja	22/09/2007			S.I.
Carigán	Loja	Loja	Loja	22/09/2007			S.I.
Zamora Huayco	Loja	Loja	Loja	22/09/2007			S.I.
Yangana	Loja	Loja	Loja	22/09/2007			S.I.
Malacatos	Loja	Malacatos	Loja	22/09/2007			S.I.
Vilcabamba	Loja	Vilcabamba	Loja	22/09/2007			S.I.
Yahuarcona	Loja	Loja	Loja	22/09/2007			S.I.
Cerro Ventanas	Loja	Saraguro	Saraguro	22/09/2007			S.I.

22. Inventario de incendios forestales año 2009

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
La papaya a 30 min. De Saraguro	Loja	Saraguro	Saraguro	05/08/2009	80		mediano
Las Palmeras por la vía antigua a Zamora	Loja	Loja	Loja	08/09/2009			S.I
Ruta a Catamayo, pasando la Y	Loja	Loja	Loja	08/09/2009			S.I
Vía Loja - Catamayo junto a la vía de ingreso a Taquil	Loja	Loja	Loja	16/09/2009	30	13:00 - 21:00	pequeño
Las antenas en el Villonaco	Loja	Loja	Loja	04/11/2009			S.I
Barrio Epoca	Loja	Loja	Loja	04/11/2009			S.I

Vía a Catamayo a 12 Km de Loja	Loja	Loja	Loja	06/11/2009		17:30	S.I
Tierra Coloradas	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
Epoca	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
Balcon Lojano	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
Teneria	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
El Plateado	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
Comunidad de Maristas	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
Carigan	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
Av. Occidental de paso	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I
Vía a Chuquiribamba	Loja	Loja	Loja	06/11/2009			S.I
Vía Loja - Catamayo Km 20	Loja	Loja	Loja	08/11/2009	60	11:00	mediano
La Era vía a Malacatos (dentro del Parque Nacional Podocarpus)	Loja	Loja	Loja	08/11/2009			S.I
Los Geranios	Loja	Loja	Loja	07/11/2009			S.I

23. Inventario de incendios forestales año 2010

PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
Loja	Saraguro	Saraguro	20/08/2010	40	12h15	pequeño
Loja	Chaguarpamba	Chaguarpamba	20/08/2010	20	14h00	pequeño
Loja	Saraguro	Saraguro	05/10/2010	8	12h30	pequeño
Loja	Espindola	Espindola	06/10/2010	15	16h50	pequeño
Loja	Saraguro	Saraguro	08/10/2010	20	11h30	pequeño
Loja	Espindola	Espindola	11/10/2010	20	12h00	pequeño
Loja	Loja	Loja	13/10/2010	20	13h00	pequeño
Loja	Saraguro	Saraguro	10/11/2010	30	16h00	pequeño
Loja	Saraguro	Saraguro	10/11/2010	40	14h30	pequeño
El Oro	Parroquia: Paccha	Atahualpa	09/11/2010		13h30	S.I.
El Oro	Cordoncillo	Atahualpa	11/11/2010		10h00	S.I.

El Oro	Ayapamba	Atahualpa	25/11/2010		18h00	S.I.
El Oro		Portovelo	12/11/2010		02h20	S.I.
El Oro	Zaruma	Zaruma	25/11/2010		11h00	S.I.
El Oro	Zaruma	Zaruma	25/11/2010		11h40	S.I.
El Oro	Cordoncillo	Atahualpa	09/11/2010		02h30	S.I.
El Oro	Zaruma	Zaruma	06/12/2010		11h45	S.I.

24. Inventario de incendios forestales año 2011

PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
San Vicente	Calvas	01/10/2011	18	13h30	pequeño
Chaguarpamba	Chaguarpamba	06/10/2011	20	14h00	pequeño
Urdaneta	Saraguro	19/10/2011	50	17h00	pequeño
El Tablón	Saraguro	21/10/2011	50	12h00	pequeño
Zaruma	Zaruma	23/08/2011		13h30	S.I
Chilla	Chilla	01/09/2011		10H30	S.I
Piñas	Piñas	07/09/2011		11h33	S.I

25. Inventario de incendios forestales año 2012

PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	INCENDIO
Loja	Fundochamba	Quilanga	18/07/2012	60	17h00	mediano
Loja	San Vicente	Calvas	30/07/2012	40	07h00	pequeño
Loja	San Vicente	Calvas	02/08/2012	30	19h00	pequeño
Loja	El Cisne	Loja	05/08/2012	40	07h00	pequeño
Loja	Tablón	Saraguro	06/08/2012	80	14h30	mediano
Loja	El Cisne	Loja	06/08/2012	20	15h15	pequeño
Loja	Purunuma	Gonzanamá	17/08/2012	35	09h00	pequeño
Loja	Catamayo	Catamayo	18/08/2012	20	22h00	pequeño
Loja	Amaluza	Espindola	21/08/2012	25	15h30	pequeño
Loja	San Antonio de las aradas	Quilanga	07/09/2012	200	16h00	mediano
Loja	El Cisne	Loja	08/09/2012	1000	20h00	grande
Loja	Zambi	Catamayo	15/09/2012	1500	17h00	grande
Loja	Quilanga	Quilanga	16/09/2012	2500	03h00	grande
Loja	San Pedro de Vilcabamba	Loja	20/09/2012	30	10h30	pequeño
Loja	Quilanga	Quilanga	26/09/2012	80	11h30	mediano
Loja	Quilanga	Quilanga	29/09/2012	40	19h00	pequeño
El Oro	Chilla	Chilla	07/09/2012	2000	16:00:00	grande
El Oro	Zaruma	Zaruma	10/09/2012	20	18:30:00	pequeño

El Oro	Salatí	Portovelo	17/09/2012	300	6:00:00	mediano
El Oro	Guanazán	Zaruma	20/09/2012	580	6:00:00	grande
El Oro	Morales	Portovelo	01/10/2012	80	21:35:00	mediano

26. Inventario de incendios forestales año 2013

PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA QUEMADA (HA)	HORA	X	Y	INCENDIO
Selva Alegre	Saraguro	04/05/2013	20	12H30	684357	9609690	pequeño
Tenta	Saraguro	27/07/2013	20	11h00	690939	9598328	pequeño
Lluzhapa	Saraguro	08/08/2013	80	06H00	685320	9611974	mediano
Selva Alegre	Saraguro	09/08/2013	100	11h30	681912	9606206	mediano
Malacatos	Loja	29/08/2013	25	13H30	698076	9538265	pequeño
Malacatos	Loja	30/08/2013	60	12H00	695888	9531726	mediano
Sucre	Loja	06/09/2013	20	20h00	695534	9558683	pequeño
Lourdes	Paltas	20/09/2013	35	14h30	651881	9553832	pequeño
Catamayo	Catamayo	21/09/2013	20	14h15	686749	9559387	pequeño
Purunuma	Gonzanamá	21/09/2013	40	14h15	681912	9531165	pequeño
Chantaco	Loja	21/09/2013	20	19h15	693440	9557938	pequeño
Chuquiribamba	Loja	22/09/2013	50	12h00	686404	9568207	pequeño
Lourdes	Paltas	22/09/2013	30	18h00	644971	9563612	pequeño
San Antonio de Manú	Saraguro	22/09/2013	40	14h15	676954	9613071	pequeño
Guayquichuma	Catamayo	25/09/2013	60	14H24	658456	9579979	mediano
Quilanga	Quilanga	27/09/2013	30	11h30	670880	9526957	pequeño
Quinara	Loja	03/10/2013	20	15h00	694737	9520820	pequeño
Yangana	Loja	04/10/2013	20	12h30	702545	9515365	pequeño
El Rosario	Chaguarpamba	04/10/2013	20	14h15	651703	9583515	pequeño
San Pablo de Tenta	Saraguro	10/10/2013	60	04h00	690477	9601649	mediano
Catacocha	Paltas	01/11/2013	20	16h30	654299	9538042	pequeño
Quinara	Loja	11/11/2013	30	14H00	696247	9522007	pequeño
Malacatos	Loja	26/11/2013	20	11h00	692417	9538593	pequeño
Zaruma, cabecera cantonal	Zaruma	28/08/2013	20	12:30:00	659278	9590758	pequeño
Guizhaguiña	Zaruma	06/09/2013	80	12:54:00	671416	9594741	mediano
Santa Rosa, cabecera cantonal	Santa Rosa	15/09/2013	30	14:21:00	615658	9617772	pequeño
Chilla, cabecera cantonal	Chilla	19/09/2013	420	15:10:00	654849	9622115	mediano

Piñas, cabecera cantonal	Piñas	22/09/2013	20	10:15:00	646489	9593230	pequeño
Portovelo, cabecera cantonal	Portovelo	24/11/2013	75	13:38:00	653365	9588796	mediano
Arenillas, cabecera cantonal	Arenillas	27/12/2013	20	13:08:00	600238	9607993	pequeño
Arenillas, cabecera cantonal	Arenillas	30/12/2013	30	16:07:00	605481	9602730	pequeño

27. Inventario de incendios forestales año 2014

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA (HA)	HORA	X	Y	INCENDIO
Cerro Mandango	Loja	Vilcabamba (Victoria)	Loja	19/04/2014	70	12:30:00	695306	9528500	mediano
Loma Guarango	Loja	Vilcabamba (Victoria)	Loja	23/07/2014	40	17:03:00	699011	9529909	pequeño
Vía que Conduce El Cisne – Gualiel	Loja	El Cisne	Loja	21/08/2014	20	20:31:00	674847	9575411	pequeño
El Tambillo	Loja	Chile	Calvas	06/09/2014	20	17:00:00	653021	9521216	pequeño
Barrio Corral Chico Bajo (Vía a Sacapalca)	Loja	Nambacola	Gonzanamá	08/09/2014	20	0:08:00	668662	9542552	pequeño
Cerro Yanatronco	Loja	Chuquiribamba	Loja	09/09/2014	50	6:30:00	677913	9523812	pequeño
Jera	Loja	Saraguro, cabecera cantonal	Saraguro	18/09/2014	22	17:10:00	696205	9600120	pequeño
Barrio Tungani	Loja	El Lucero	Calvas	01/10/2014	30	13:30:00	884796	9883349	pequeño
Huacanuma, cerca de la Y de Olmedo	Loja	Olmedo, cabecera cantonal	Olmedo	19/10/2014	26	13:11:00	653746	9565200	pequeño
Parque Eólico	Loja	Sucre	Loja	20/10/2014	25	18:05:00	693601	9557388	pequeño
Masanamaca	Loja	Vilcabamba (Victoria)	Loja	22/10/2014	30	17:00:00	699848	9525336	pequeño
El Jardín (Cerro Chamba)	Loja	Chaguarpamba, cabecera cantonal	Chaguarpamba	09/11/2014	20	11:26:00	649220	9574935	pequeño

El Triunfo	Loja	Chaguarpamba, cabecera cantonal	Chaguarpamba	15/11/2014	25	14:10:00	647470	9574545	pequeño
Cerro Chaguahurco	Loja	Guachanamá	Paltas	19/11/2014	80	20:30:00	625106	9553837	mediano
Cerro Pata Grande, calle la Bocana, del antiguo hospital a 3 cuadras	El Oro	Piñas, cabecera cantonal	Piñas	17/08/2014	35	15:40:00	646846	9593101	pequeño
Botoneros	El Oro	Muluncay grande	Zaruma	19/08/2014	30	13:30:00	649765	9597674	pequeño
Ciudadela Libertad (Vía Arenillas – Huaquillas frente al Hotel Hillary)	El Oro	Arenillas, cabecera cantonal	Arenillas	28/09/2014	30	15:00:00	603022	9606824	pequeño
El Telégrafo	El Oro	Chacras	Arenillas	01/10/2014	40	10:55:00	597537	9613017	pequeño
El Guayabo	El Oro	Salatí	Portovelo	14/10/2014	40	14:30:00	653473	9588429	pequeño
El Faique, vía a Portovelo	El Oro	Zaruma, cabecera cantonal	Zaruma	04/11/2014	20	13:12:00	653818	9592010	pequeño

28. Inventario de incendios forestales año 2015

ZONA	PROVINCIA	PARROQUIA	CANTÓN	FECHA DE INCENDIO	AREA (HA)	HORA	X	Y	INCENDIO
Las Juntas	Loja	Santiago	Loja	21/02/2015	30	16:30:00	694610	9578362	pequeño
Tarume	Loja	Purunuma	Gonzanamá	08/04/2015	20	9:30:00	682047	9533685	pequeño
Barrio Chaquircuña (El Tablazo)	Loja	El Cisne	Loja	23/06/2015	50	23:00:00	677795	9571278	pequeño
Peña Negra, Potrerillos, Portete de pita	Loja	Nambacola	Gonzanamá	05/07/2015	49	13:30:00	670624	9540915	pequeño
Naranjillo	Loja	El Cisne	Loja	11/07/2015	20	9:30:00	677415	9569899	pequeño
Cruz Blanca	Loja	El Cisne	Loja	05/08/2015	40	8:00:00	676020	9571024	pequeño
Chivatos	Loja	Olmedo	Olmedo	06/08/2015	20	8:00:00	655569	9563676	pequeño

El Tingo	Loja	Amaluza	Espíndola	07/08/2015	20	18:20:00	674900	9491251	pequeño
Punzara	Loja	San Sebastián	Loja	09/08/2015	40	15:10:00	697964	9553145	pequeño
barrio San José	Loja	Bellavista	Espíndola	19/08/2015	60	12:00:00	669411	9494315	mediano
	Loja	Quilanga	Quilanga	22/08/2015	40	19:00:00	680150	9523137	pequeño
La Concha	Loja	El Cisne	Loja	25/08/2015	30	12:00:00	675022	9574345	pequeño
Surunuma	Loja	Nambacola	Gonzanamá	26/08/2015	30	9:45:00	675226	9539668	pequeño
Surunuma	Loja	Nambacola	Gonzanamá	29/08/2015	50	17:30:00	675226	9539668	pequeño
Consahuana	Loja	El Ingenio	Espíndola	30/08/2015	40	22:00:00	676747	9512219	pequeño
Saracapa	Loja	Chuquiribamba	Loja	04/09/2015	20	10:00:00	681541	9573288	pequeño
Lanzaca	Loja	Changaimina	Gonzanamá	05/09/2015	40	11:00:00	667198	9528408	pequeño
Cruz Blanca	Loja	El Cisne	Loja	09/09/2015	30	15:00:00	675259	9570394	pequeño
Carboncillo	Loja	El Tablon	Saraguro	15/09/2015	30	7:00:00	671100	9630824	pequeño
San Vicente de las Salceras o Alares	Loja	Guachanamá	Paltas	15/09/2015	30	11:00:00	630660	9557588	pequeño
Cerro Sabilaca	Loja	Nambacola	Gonzanamá	15/09/2015	30	15:30:00	667659	9538063	pequeño
Valle hermoso	Loja	Manu	Saraguro	15/09/2015	50	15:00:00	678198	9609366	pequeño
Lagunas de los militares	Loja	Sucre	Loja	15/09/2015	48	12:00:00	694797	9559653	pequeño
Lagunas de los militares	Loja	Sucre	Loja	15/09/2015	275	12:00:00	694797	9559653	mediano
Barrio Granadillo	Loja	El Airo	Espíndola	13/09/2015	80	14:00:00	679035	979035	mediano
Celen	Loja	Gualel	Loja	15/09/2015	100	11:00:00	677806	9577440	mediano
Santa Marta	Loja	27 de Abril	Espíndola	15/09/2015	56	17:00:00	670195	9506967	mediano
Barrio Amarillos	Loja	El ingenio	Espíndola	13/09/2015	300	14:00:00	678989	9509857	mediano
Granadillo	Loja	Malacatos	Loja	19/09/2015	30	12:00:00	690406	9534475	pequeño
Riodopamba	Loja	Purunuma	Gonzanamá	20/09/2015	50	14:30:00	683889	9535086	pequeño

Salida de Catacocha a San Vicente del río	Loja	Lourdes	Paltas	21/09/2015	25	13:00:00	651809	9551583	pequeño
Montaña negra	Loja	San Antonio de las Aradas	Quilanga	24/09/2015	200	16:00:00	682586	9515583	mediano
Montaña negra	Loja	San Antonio de las Aradas	Quilanga	24/09/2015	200	16:00:00	682586	9515583	mediano
Naimuro	Loja	Fundochamba	Quilanga	28/09/2015	20	12:25:00	677068	9522733	pequeño
El Limon	Loja	Catamayo	Catamayo	28/09/2015	40	17:30:00	685594	9559409	pequeño
San Agustin	Loja	El Tambo	Catamayo	29/09/2015	60	15:00:00	689325	9542339	mediano
Nangora, Patopamba, Granadito	Loja	Malacatos	Loja	29/09/2015	80	8:30:00	698389	9536592	mediano
La Chorrera	Loja	Gonzanamá	Gonzanamá	27/09/2015	60	17:30:00	674964	9530917	mediano
La "y" de Catamayo	Loja	Catamayo	Catamayo	29/09/2015	20	18:00:00	688972	9558342	pequeño
Vía a Potochuro	Loja	El Cisne	Loja	21/10/2015	150	10:25:00	674702	9574211	mediano
Canicapac	Loja	San Pablo de Tenta	Saraguro	21/10/2015	40	15:30:00	691506	9605087	pequeño
San José	El Oro	Salvias	Zaruma	14/09/2015	20	9:00:00	664787	9606855	pequeño
Tambillo. cerro de arcos – corredores	El Oro	Salvias	Zaruma	14/09/2015	400	9:00:00	664787	9606855	mediano
Tambillo. cerro de arcos – corredores	El oro	Salvias	Zaruma	14/09/2015	511	9:00:00	664787	9606855	grande