

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Y DESARROLLO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN
ÁREA PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS PARA ESTIMAR EMISIONES
ATMOSFÉRICAS RESULTANTES DE INCENDIOS FORESTALES. PARQUE
NACIONAL CANAIMA (2014-2016)**

Prof. Roberto Rivera

Tutor: Prof. Dr. Vidal Sáez

Trabajo de ascenso para optar a la categoría de Asistente

Caracas, febrero de 2019

HAGUA

“O seco deserto esta tomando conta do planeta

Água doce, bebível, potável está acabando (uuh)

Poluição, devastação, queimadas

Desequilíbrio mental

Desequilíbrio do meio ambiente

Segundo previsões dos cientistas

De padres, pastores, budistas

De ciganos, pai de Santos, Hare Krishna

O tempo vai secar

O sol vai cárcume

E água pra beber

(Não vai ter)

E água pra lavar

(Não vai dar)

Água pra benzer

E água pra nadar

Nada, nada...”

AGUA

“El seco desierto se está apoderando del planeta

El agua dulce, bebible, potable se está acabando (uuh)

Contaminación, devastación, quemadas

Desequilibrio mental

Desequilibrio del medio ambiente

Según previsiones de científicos

De padres, pastores, budistas

De gitanos, pai de Santos, Hare Krishna

El tiempo se va secar

El sol se va carcomer

Y agua para beber

(No va haber)

Y agua para lavar

(No se podrá)

Agua para bendecir

y agua para nadar

Nada, nada...”

Compositores: Gabriel De Moura Passos / Jorge Mario Da Silva / Joviniano Cesar Da Silva

Letra de Hagua © Universal Music Publishing Group

A mis padres, Edda María (*in memoriam*) y Roque Julio,
y a mi hija Beatriz, dedico.

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. Vidal Sáez Sáez, tutor de formación, por el *apoyo*, confianza y estímulo suministrado durante todo el período de formación, así como por las acertadas observaciones realizadas a este trabajo de ascenso.

A todo el personal que labora en el Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, Prof. Karenia Córdova (Directora), Prof. Jesús Lemus, Prof. Marisol Salazar, Prof. Exyeleth Echarry, Prof. Victor Aguilar, Liannerys Arias y Rossmary Solorzano por el apoyo incondicional proporcionado desde los inicios de la carrera docente, y en especial durante las diferentes etapas de este trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna forma contribuyeron con la realización del trabajo de investigación.

RESUMEN

En la actualidad, las estimaciones de los parámetros utilizados en los modelos de emisiones globales se basan en informaciones obtenidas con sensores remotos de resolución espacial baja y moderada, y aun cuando se ha avanzado mucho desde el surgimiento de las primeras plataformas orbitales, todavía es necesario mejorar la confiabilidad de esas estimaciones. Esta mejora depende básicamente de la capacidad de la comunidad científica para desarrollar técnicas y procedimientos que permitan estimar con mayor exactitud parámetros como el área quemada. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue cuantificar áreas quemadas a partir de datos obtenidos del satélite Landsat-8/OLI, como parámetro biofísico indispensable para estimar de manera indirecta las emisiones atmosféricas brutas de los principales gases de efecto invernadero (GEI), resultantes de la ocurrencia de incendios forestales en el Parque Nacional Canaima (PNC), durante el período seco extendido 2015-2016. Todo ello, con la finalidad de suministrar estimaciones de emisiones atmosféricas más precisas que las encontradas en los modelos globales. La detección y cuantificación de las áreas quemadas se realizó mediante la interpretación visual de las cicatrices dejadas por el fuego, visibles en 252 imágenes del satélite Landsat-8/OLI. Posteriormente, se realizaron operaciones algebraicas con la ayuda de las aplicaciones QGIS y ArcGis, a fin de calcular el área total quemada y el tipo de vegetación afectada por el fuego. Los resultados mostraron que el área total quemada fue de 83.408,04 y 86.594,87 ha, respectivamente para 2015 y 2016, lo cual representa el 2,87% y 2,98% de la superficie total del PNC (2.900.315,72 ha); o también el 7,28% y 7,56% de su Sector Oriental (ocupado mayormente por la vegetación de Sabana). Se verificó que existe concordancia en la magnitud del área quemada en ambos años estudiados (2015 y 2016), debido a la ocurrencia de un período seco prolongado de cuatro años (2013-2016), influenciado por la actividad de ENSO (2015). En relación a la distribución intranual de las áreas quemadas en el PNC, se observó que existe una correlación en sentido inversa ($r = -0,64$) entre éstas y la estacionalidad de las precipitaciones, caracterizada por un régimen anual unimodal, con un período lluvioso entre mayo y noviembre; y otro seco entre diciembre y abril, el cual ha sido consistente durante un período histórico de más de 30 años. En lo referente a la superficie afectada por la actividad del fuego distribuida por clases de tamaño, se observó que las clases menores a 50 ha representan el 51,07% y 44,26% del área total quemada del PNC; y que casi la totalidad de las áreas quemadas (99,83 % y 99,72 %) corresponden a superficies menores a 500 ha (respectivamente para 2015 y 2016, en ambos casos). En relación a la cuantificación de las áreas quemadas por tipo de fisionomía vegetal, se observó que el bioma Sabana (sabana, sabana inundable y herbazal) es el más afectado por el fuego con 73.293,84 ha y 78.549,78 ha (91,94% y 92,08%, respectivamente para 2015 y 2016). Finalmente, las estimaciones de emisiones brutas de GEI resultaron en 0,22 y 0,24 Tg/año de CO_2 (como gas de referencia), respectivamente para 2015 y 2016.

BURNED AREA QUANTIFICATION TO ESTIMATE GREENHOUSE GASES EMISSIONS DUE TO BIOMASS BURNING. CANAIMA NATIONAL PARK (2014-2106).

ABSTRACT

Currently, the parameters used in global emission models are based on information obtained with remote sensing data related to low and moderate spatial resolution, and even though much has been achieved since the emergence of the first orbital platforms, it is still necessary improve the reliability of those estimates. This improvement depends on the ability of the scientific community to develop techniques and procedures to more accurately estimate parameters such as the burned area. Therefore, the objective of the present investigation was to quantify burned areas from Landsat-8 / OLI data to estimate indirectly fire emissions of the main greenhouse gases (GHG) at Canaima National Park (CNP), during the extended dry period 2015-2016. All this, in order to provide estimates of atmospheric emissions more accurate than those found in global models. The detection and quantification of the burned areas was made by visual interpretation of the firescars, visible in 252 images of the Landsat-8 / OLI satellite. Subsequently, algebraic operations were carried out with the help of the QGIS and ArcGis softwares, in order to calculate the total burned area and the type of vegetation affected by the fire. The results showed that the total area burned was 83,408.04 and 86,594.87 ha, respectively for 2015 and 2016, which represents 2.87% and 2.98% of the total area of the CNP (2,900,315.72 ha); or also 7.28% and 7.56% of its Eastern Sector (occupied mainly by Savanna vegetation). It was verified that there is agreement in the magnitude of the burned area in both studied years (2015 and 2016), due to the occurrence of a prolonged dry period of four years (2013-2016), influenced by the activity of ENSO (2015). In relation to the intrannual distribution of burned areas in CNP, it was observed that there is an inverse correlation ($r = -0.64$) between burned areas and the seasonality of rainfall, characterized by a unimodal annual regime, with a period rainy between May and November; and another dry period between December and April, which has been consistent during a historical precipitation period of more than 30 years. Regarding to the area affected by fire activity distributed by size classes, it was observed that the classes smaller than 50 ha represent 51.07% and 44.26% of the total burned area of the CNP; and almost all of the burned areas (99.83% and 99.72%) correspond to areas of less than 500 ha (respectively for 2015 and 2016, in both cases). In relation to the quantification of burned areas by physiognomy types of vegetation, it was observed that the Sabana biome (savanna, flooded savanna and grassland) is the most affected by fire with 73,293.84 ha and 78,549.78 ha (91.94 % and 92.08%, respectively for 2015 and 2016). Finally, estimates of gross GHG emissions resulted in 0.22 and 0.24 Tg/year of CO₂ (reference gas), respectively for 2015 and 2016.

ÍNDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
 CAPÍTULO I. EL PARQUE NACIONAL CANAIMA: ESPACIO GEOGRÁFICO IMPRESCINDIBLE PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO	
1.1 Localización geográfica y delimitación del Parque Nacional Canaima.....	27
1.2 Características generales del Parque Nacional Canaima.....	27
1.3 Importancia del Parque Nacional Canaima en el contexto internacional, nacional y regional.....	32
1.4 El Parque Nacional Canaima y su papel en la adaptación y mitigación al cambio climático.....	33
 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL PARA EL LEVANTAMIENTO DE ÁREAS QUEMADAS CON DATOS ORBITALES Y ESTIMACIONES GLOBALES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS RESULTANTES DE LA QUEMA DE BIOMASA.....	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	35
2.1.1 Cuantificación de áreas quemadas utilizando datos orbitales.....	35
2.1.2 Comportamiento espectral de las áreas quemadas en la región óptica del espectro electromagnético (visible, infrarrojo cercano y medio).....	39
2.2 Bases Teóricas.....	43
2.2.1 La vegetación de sabana.....	43
2.2.1.1 Concepto, estructura y fisionomía.....	43
2.2.1.2 Ocurrencia y distribución.....	45
2.2.1.3 El fuego en la vegetación de sabana.....	46
2.2.1.4 Terminología del fuego.....	49
2.2.1.5 Recurrencia de quemadas y permanencia de cicatrices del fuego en las sabanas.....	50
2.2.1.6 Discriminación de áreas quemadas utilizando datos orbitales.....	51

2.2.1.6.1 Propiedades espectrales de las áreas quemadas.....	52
2.2.2 Estimaciones de emisiones atmosféricas utilizando datos orbitales.....	53
2.2.2.1 Estimaciones de emisiones atmosféricas a partir de la concentración de los componentes del humo.....	54
2.2.2.1.1 Mediciones en campo y laboratorio.....	54
2.2.2.2. Mediciones con datos de percepción remota.....	54
2.2.2.3 Estimaciones de emisiones atmosféricas a partir de la cuantificación de la biomasa quemada.....	57
2.2.2.3.1 Biomasa total quemada.....	57
2.2.2.3.2 Estimación de emisiones atmosféricas en relación a un gas de referencia.....	74
2.2.2.3.3 Estimación de emisiones atmosféricas en relación a la cantidad de biomasa consumida.....	75
CAPÍTULO III. ASPECTOS FÍSICO NATURALES Y SOCIO-CULTURALES DEL PARQUE NACIONAL CANAIMA.....	77
3.1 Clima y aspectos meteorológicos.....	77
3.2 Hidrografía y drenaje.....	78
3.3 Fisiografía.....	79
3.4 Geología y geomorfología.....	80
3.5 Vegetación y flora.....	85
3.5.1 Formación arbórea.....	85
3.5.2 Formación arbustiva.....	90
3.5.3 Formación herbácea.....	93
3.5.4 Formaciones pioneras.....	97
3.5.5 Niveles de endemismo.....	98
3.6 La comunidad Pemón habitante del Parque Nacional Canaima.....	99
3.6.1 Patrón de asentamiento y tenencia de la tierra.....	100
3.6.2 Tendencias demográficas.....	101
3.6.3 Actividades de subsistencia.....	102
3.6.4 Hábitos, costumbres, tradiciones y cambios socioculturales.....	103

CAPÍTULO IV. ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS Y ESTIMACIONES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	106
4.1 Material.....	106
4.1.1 Definición del período de estudio.....	106
4.1.2 Productos Orbitales.....	107
4.1.3 Aplicaciones computacionales.....	109
4.2 Metodología.....	109
4.2.1 Selección de las imágenes satelitales (Fase 1).....	109
4.2.2 Creación de la base de datos y procesamiento de los datos orbitales (Fase 2).....	109
4.2.3 Detección de las áreas quemadas (Fase 3).....	110
4.2.3.1 Interpretación visual de las áreas quemadas.....	110
4.2.3.2 Actualización cartográfica y temática.....	114
4.2.3.3 Geoprocesamiento de los datos e información temática.....	114
4.2.4 Estimación de las emisiones atmosféricas brutas a partir de la cantidad de biomasa quemada (Fase 4).....	114
4.2.5 Talleres, entrevistas y consultas con miembros y líderes de las comunidades Pemón.....	116
CAPÍTULO V. RESULTADOS	117
5.1 Cuantificación y patrón de distribución de las áreas quemadas.....	117
5.1.1 Cuantificación de las áreas quemadas.....	119
5.1.2 Patrón de distribución de las áreas quemadas.....	135
5.1.2.1 Distribución de los polígonos de quema por clase de tamaño.....	135
5.1.2.2. Distribución y extensión de la vegetación.....	138
5.2 Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la quema de biomasa vegetal.....	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXO A. IMÁGENES LANDSAT-8/OLI UTILIZADAS EN LA DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS QUEMADAS (UN TOTAL DE 252 IMÁGENES, 6 IMÁGENES PARA CADA UNA DE LAS 42 QUINCENAS DEL PERÍODO DE ESTUDIO).....	167

ANEXO B. LISTA DE ASISTENCIA DE PARTICIPANTES E INSTITUCIONES AL “I ENCUENTRO E INTERCAMBIO DE SABERES PARA LA GESTIÓN INTERCULTURAL DEL MANEJO PARTICIPATIVO DEL FUEGO”	168
ANEXO C. LISTA DE ASISTENCIA DE PARTICIPANTES E INSTITUCIONES AL “I TALLER DE TRABAJO: DISEÑO DE PLANES DE ACCIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO INTEGRANDO LAS PERSPECTIVAS DESDE LO LOCAL INDÍGENA CON LA ACADEMIA Y LAS INSTITUCIONES EN EL PARQUE NACIONAL CANAIMA”	171
ANEXO D. II TALLER DE TRABAJO: “DESARROLLO DE HERRAMIENTAS INTERCULTURALES Y PARTICIPATIVAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANES DE ACCIÓN DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PARQUE NACIONAL CANAIMA”	174
ANEXO E. MAPA DE VEGETACIÓN DEL PARQUE NACIONAL CANAIMA ACTUALIZADO (2014).....	176

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1. Localización geográfica del Parque Nacional Canaima.....	28
1.2. Localización de las comunidades indígenas del Parque Nacional Canaima.....	29
4.1. Órbita/Punto de las imágenes Landsat-8/OLI utilizadas en la detección y cuantificación de las áreas quemadas en el Parque Nacional Canaima.....	107
4.2. Interpretación visual de las imágenes Landsat-8/OLI. (a) Interpretación de la primera fecha; (b) Criterios para la actualización de la segunda fecha; e (c) Segunda fecha actualizada según los criterios establecidos.....	112
4.3. Actualización de las cicatrices del fuego afectadas por nubes y sombras.....	112
4.4. Transformación de la representación vectorial (PIV) en representación matricial (PIM).....	113
5.1. Diferentes límites del Parque Nacional Canaima utilizados en la literatura.....	118
5.2. Área total quemada en el Parque Nacional Canaima. (a) Período seco 2015. (b) Período seco 2016.....	120
5.3. Vista aérea de parcelas experimentales aplicando la técnica PMB.....	126
5.4. Focos de calor en el Parque Nacional Canaima. (a) Período seco 2015. (b) Período seco 2016.....	133
5.5. Áreas quemadas en la interfase Sabana-Bosques.....	136
5.6. Mapa de vegetación actualizado (2014).....	139

LISTA DE CUADROS

	<u>Pág.</u>
2.1. Usos del fuego por el pueblo Pemón.....	48
3.1 Niveles de endemismo en la Guayana Venezolana.....	98
3.2. Número de Taxa de la Provincia Pantepui en la Guayana Venezolana.....	99
4.1. Listado de mosaicos de imágenes Landsat-8/OLI utilizadas en la detección y cuantificación de las áreas quemadas en el Parque Nacional Canaima.....	108
5.1. Resumen de las estadísticas de la superficie quemada (ha) durante los períodos de quema 2015 y 2016 en el Parque Nacional Canaima.....	119
5.2. Estadísticas del área total quemada (ha) para cada mes del período de estudio (noviembre/2014 - septiembre/2016) en el Parque Nacional Canaima.....	122
5.3. Área total quemada (ha) durante los períodos de quema 2015 y 2016 en el Parque Nacional Canaima por clases de tamaño de los polígonos de quema.....	125
5.4. Número de eventos y superficie afectada por incendios forestales (2000-2014) en el territorio nacional.....	128
5.5. Densidad de superficie quemada en la vegetación herbácea (Territorio Nacional y PNC), en relación al total de la superficie herbácea existente (Territorio Nacional y PNC).....	129
5.6. Reporte de incendios forestales a escala nacional comprendidos entre El 01 de enero y el 30 de septiembre de 2014.....	131
5.7. Tipos de vegetación y superficie con las correspondientes áreas quemadas (ha) en el Parque Nacional Canaima (absoluta y relativa).....	140
5.8. Estimaciones de emisiones atmosféricas brutas (CO ₂ , CO y NO _x) en el Parque Nacional Canaima durante el período seco 2015.....	141
5.9. Estimaciones de emisiones atmosféricas brutas (CO ₂ , CO y NO _x) en el Parque Nacional Canaima durante el período seco 2016.....	142
5.10. Comparación de las estimaciones brutas de CO (2015 y 2016) con otros modelos de emisiones continentales y globales (2000 y 2005).....	143

LISTA DE GRÁFICOS

	<u>Pág.</u>
5.1. Correlación entre las áreas quemadas y la precipitación media mensual en el Parque Nacional Canaima.....	124
5.2. Climograma de temperatura del aire y precipitación media mensual (1984-1997) de la red de estaciones meteorológicas del Parque Nacional Canaima....	137

INTRODUCCIÓN

El aumento en las concentraciones atmosféricas de algunos gases de efecto invernadero (GEI), debido a factores naturales o de origen antrópico, se ha asociado a cambios en el clima global. La influencia de estos factores en la modificación del balance de energía en el sistema Tierra-atmósfera y su importancia como un mecanismo potencial de cambio climático, pueden ser evaluados mediante el concepto de forzamiento radiactivo. Un forzamiento radiactivo positivo, como el producido por el aumento en las concentraciones atmosféricas de algunos GEI procedentes de actividades humanas, altera considerablemente la energía térmica retenida en la atmósfera y, consecuentemente, el clima global (IPCC, 2001).

El cambio climático se ha manifestado en diversas formas, destacándose el calentamiento global, la mayor frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, los cambios en los regímenes de lluvias, las alteraciones en las corrientes oceánicas, la contracción de los glaciares y el aumento del nivel del mar. Estos cambios podrían ocasionar impactos en los sistemas naturales y humanos y comprometer la disponibilidad de recursos básicos como agua y alimentos, la biodiversidad y los ecosistemas terrestres y marinos, los asentamientos humanos y la salud humana, entre otros (IPCC, 2001).

Los principales GEI en la atmósfera terrestre son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3). Además, existen GEI producidos en su totalidad por el Hombre como los halocarbonos, el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Cabe destacar que las concentraciones atmosféricas de GEI como el CO_2 , N_2O , CH_4 y O_3 alcanzaron en el año 2016 los niveles más altos en la biosfera jamás registrados, como resultado de las actividades antrópicas (OMM, 2017).

Entre las actividades humanas más importantes que contribuyen con las emisiones de estos gases, se tienen: a) la quema de carbón, petróleo y gas natural para la producción de energía y para el funcionamiento de los sistemas de transporte, b) la quema de biomasa vegetal resultante de la conversión de bosques y pastizales para otros usos de la tierra y la

quema de residuos agrícolas, c) la aplicación de fertilizantes agrícolas, d) los cultivos de arroz y la ganadería, y e) las emisiones directas de productos químicos producidos por el Hombre a partir de diferentes fuentes, incluyendo propulsores de gas (Levine, 1991).

La quema de biomasa inducida por actividades antrópicas o por causas naturales es una fuente importante de emisiones globales de gases y partículas a la atmósfera como CO_2 , óxidos de nitrógeno (NO_x), N_2O , monóxido de carbono (CO), CH_4 y otros hidrocarburos distintos del metano (NMHC, por sus siglas en inglés) que entran en la circulación atmosférica global y contribuyen con el incremento del efecto invernadero. La oxidación de CO , CH_4 y NMHC en presencia de NO_x , causan incrementos en la concentración de O_3 en la troposfera como consecuencia de la combustión incompleta que ocurre durante la quema de biomasa (OMM, 2011).

Durante las quemas el carbono es la fracción predominante emitida, principalmente en forma de CO_2 (90%), CO , hidrocarburos (CH_4) y NMHC. El CO_2 es la especie de mayor preocupación, debido a las grandes cantidades de este gas que se emiten en intervalos cortos de tiempo (Crutzen y Andreae, 1990).

A largo plazo, la concentración de CO_2 en la atmósfera producto de la quema de biomasa no es significativa si se considera su reincorporación durante el rebrote de la vegetación después del fuego. Sin embargo, cuando la biomasa que ha sido quemada no es restablecida rápidamente, el CO_2 es añadido a la atmósfera hasta su remoción por algún otro proceso, lo que contribuye al efecto invernadero y el cambio climático global (Andreae, 1991; Iacobellis *et al.*, 1994). Por otra parte, gases como el CH_4 y el N_2O , emitidos durante las quemas, permanecen en la atmósfera aun cuando la biomasa se haya recuperado por completo, ya que no participan en la fotosíntesis.

La preocupación que existe actualmente en evaluar con mayor propiedad la real contribución de la quema de biomasa vegetal en el incremento de la concentración de GEI en la atmósfera, muestra la necesidad de estimar, de forma regular y sistemática, la extensión de las áreas quemadas en todo el planeta. En este sentido, cabe destacar el uso de las técnicas de percepción remota para estimar emisiones atmosféricas resultantes de

la quema de biomasa, las cuales son particularmente útiles cuando hay necesidad de realizar observaciones periódicas de extensas áreas afectadas por el fuego a escala regional o global; así como para comprender los factores y procesos ecológicos que ocurren durante los incendios forestales.

En la actualidad, las estimaciones de los parámetros utilizados en los modelos de emisiones globales están basadas en informaciones obtenidas con sensores de resoluciones espaciales baja y moderada, y aunque se haya avanzado mucho desde el surgimiento de las primeras plataformas orbitales, aún es necesario mejorar la confiabilidad de esas estimaciones. Esta mejora depende, básicamente, de la capacidad de la comunidad científica para desarrollar técnicas y procedimientos que permitan estimar con mayor exactitud parámetros como el área quemada.

Las técnicas y procedimientos comúnmente utilizados para la identificación y cuantificación de áreas quemadas se basan en la aplicación de algoritmos automáticos, modelos de mezcla espectral y técnicas de interpretación visual, conforme las propiedades espectrales (reflectivas o emisivas) que presenta el fuego activo y las cicatrices del fuego en diferentes regiones del espectro electromagnético.

Diversos productos para la identificación y cuantificación de áreas quemadas han sido desarrollados a partir de datos orbitales de resolución moderada (p. ej. el sensor MODIS/Tierra y Aqua); sin embargo, las estimaciones del área quemada obtenidas utilizando estos productos pueden presentar discrepancias relativas no sólo a la resolución espacial de los datos, sino también a las técnicas y a los procedimientos empleados para mapear quemadas (Jain, 2007).

En la presente investigación se utilizaron imágenes del satélite Landsat/8-OLI, puesto que ofrecen la capacidad de cuantificar la superficie quemada con mayor precisión, disminuyendo significativamente las incertidumbres asociadas a las características de los datos orbitales, ya que presentan resoluciones (espacial y temporal) acordes con los patrones espacio-temporales de la ocurrencia de incendios forestales en biomas de

bosques y sabanas tropicales (Pereira, 1988; Arino *et al.*, 2000; Eva, 2000; França, 2001; Krug *et al.*, 2004), como es el caso del Parque Nacional Canaima.

En los próximos apartados se abordará la cuantificación del área quemada en el Parque Nacional Canaima, durante el período seco extendido entre los años 2014 y 2016, ocasionado por El Niño Oscilación del Sur (ENSO). La cuantificación de las áreas quemadas se realizó mediante la interpretación visual de las cicatrices dejadas por el fuego, utilizando imágenes de mediana resolución espacial (30 m) y temporal (16 días) como las del satélite Landsat/8-OLI, con la finalidad de suministrar emisiones atmosféricas de GEI más precisas que las encontradas en los modelos globales de emisiones, los cuales utilizan datos orbitales de baja a moderada resolución espacial (250 a 1.000 m).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Definición del problema

El inventario de los incendios forestales en Venezuela se basa en reportes realizados por instituciones responsables del control, combate y extinción de los incendios forestales ocurridos en el territorio nacional. En cada una de las entidades federales, el seguimiento y cuantificación de los mismos se realiza mediante técnicas rudimentarias de observación directa en campo, durante o después de la ocurrencia de los eventos, una vez que se ha extinguido el fuego; estimando visualmente la superficie y el tipo de vegetación afectada. En ciertos eventos, las estimaciones del área afectada por el fuego también son obtenidas con el uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés). Sin embargo, el número y extensión de la superficie afectada no ha sido validada hasta el presente con técnicas o procedimientos estadísticos adecuados, a fin de establecer la precisión y confiabilidad de la información levantada (Rivera-Lombardi *et al.*, 2015).

La información obtenida en campo acerca de las características de los eventos ocurridos se registra en planillas diseñadas para tal finalidad y es, posteriormente, tabulada y enviada al órgano central responsable en materia ambiental, el cual es el encargado de recopilarla y, finalmente, generar reportes para cada entidad federal y a escala nacional (Rivera-Lombardi *et al.*, 2015).

No obstante, para fortalecer estas acciones es necesario contar con registros de sensores a bordo de satélites de observación de la Tierra, que permitan cuantificar con mayor precisión y continuidad la ocurrencia del fuego en el territorio nacional (Rivera-Lombardi *et al.*, 2011). Es el caso del programa de detección de focos de calor, indicadores de posibles fuegos activos, del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil, mediante el uso de técnicas de percepción remota, a partir de imágenes de los satélites NOAA-12 y el MODIS/Aqua, entre otros. Este programa procura la integración de diferentes técnicas y procedimientos tecnológicos permitiendo definir fuentes de información específica para la evaluación y monitoreo de incendios forestales (INPE, 2018).

Parámetros requeridos en los modelos de emisiones atmosféricas como el área quemada, la densidad de la biomasa, o el contenido de agua en el material combustible, pueden ser deducidos de forma directa o indirecta a partir de datos orbitales (Ahern *et al.*, 2001; Justice *et al.*, 2002). Sin embargo, los cálculos de emisiones atmosféricas globales presentan una amplia diversidad de incertidumbres cuando se utilizan datos de percepción remota de baja o moderada resolución espacial, causadas, principalmente, por imprecisiones en las estimaciones de la biomasa quemada y por la dinámica espacio-temporal del fuego. Por otro lado, algunos de los parámetros que relacionan la cantidad de la biomasa quemada con los flujos de emisiones presentan márgenes de errores poco conocidas.

Es por ello, que las estimaciones de las emisiones de GEI resultantes de la quema de biomasa son consideradas una tarea muy compleja de ser realizada, debido a las incertidumbres en las mediciones de los parámetros biofísicos utilizados en los modelos de emisiones atmosféricas. Los niveles de incertidumbre en las mediciones de estos parámetros están directamente relacionados con las escalas de trabajo y con la variabilidad espacio-temporal de la actividad del fuego y del combustible de la biomasa.

A pesar de que las estimaciones de los parámetros biofísicos requeridos en los modelos de emisiones atmosféricas utilizando datos de percepción remota presenten algunas limitaciones, esas mediciones representan la única alternativa para cuantificar emisiones atmosféricas de manera sistemática a escala regional o global. Por otro lado, en virtud de que los sensores remotos tienen la capacidad de obtener información de coberturas terrestres de forma regular en diferentes resoluciones: espacial, temporal y espectral (p. ej., de las regiones óptica e infrarroja del espectro electromagnético), el uso de estos datos contribuye significativamente en la representación de la heterogeneidad espacio-temporal del fuego, principalmente, cuando ocurren en diferentes niveles de detalle.

Debido a la alta ocurrencia de incendios forestales en la cuenca del río Caroní, en la cual se inserta el Parque Nacional Canaima casi en su totalidad (ocupando cerca de un tercio de la cuenca), el fuego ha sido motivo de preocupación de académicos, administradores del Parque y la opinión pública en general, a causa de los impactos de extrema severidad

adjudicados a los incendios, entre ellos: intensos procesos de sabanización, pérdida de la capacidad de amortiguación para resistir los fenómenos climáticos extremos, degradación del suelo, cambios en el balance de agua, degradación de los paisajes que atraen a los turistas, aumento de la carga de sedimentos de los cursos de agua, alteración de los ciclos biogeoquímicos y pérdida de la biodiversidad. Asimismo, este tipo de impactos ha sido motivo de gran preocupación para las instituciones de carácter local, regional, nacional o supranacional destinadas a la conservación; en virtud de la importancia estratégica, tanto política como económica, de esta región, (Bilbao *et al.*, 2009; 2010).

En un estudio acerca del nivel de riesgo del fuego en la cuenca del río Caroní, realizado por CORPOELEC (2008), se observó que la mayor superficie con potencial para la propagación de incendios correspondía al Alto Caroní (1.048.059 ha), seguido por el Bajo Caroní (822.874 ha), el Bajo Paragua (547.092 ha) y el Medio Caroní (459.501 ha). Las causas de los incendios en el Alto y Medio Caroní, donde se encuentra insertado el Parque Nacional Canaima en su totalidad, han sido asociadas con las actividades de la comunidad Pemón, quienes usan el fuego como parte de las prácticas diarias y de la identidad cultural indígena, cumpliendo funciones tanto prácticas como espirituales, entre las que se cuenta la de satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, a través del establecimiento de conucos para la agricultura itinerante, la cacería y la pesca; actividades que no serían posible desarrollar bajo ninguna otra estrategia (Rodríguez 2004; 2007; Bilbao *et al.*, 2009).

Como una iniciativa para controlar la alta ocurrencia del fuego, la compañía hidroeléctrica CVG-EDELCA (actualmente CORPOELEC), creó en 1981 un programa para detectar, combatir y prevenir fuegos en la cuenca del Caroní, con énfasis en el Parque Nacional Canaima. Este programa se convirtió en uno de los de mayor trayectoria y organización en el combate de incendios a nivel nacional. Sin embargo, la gran extensión del territorio, las dificultades de accesibilidad y el alto número de incendios, impidió un control efectivo del fuego en la región; llegando, incluso, a la desactivación del programa en la actualidad (Gómez *et al.*, 2000; CVG-EDELCA, 2004; Millán *et al.*, 2013).

Entre los resultados más importantes alcanzados por el programa (publicados en Gómez *et al.* 2000; Ablan *et al.*, 2007) y de interés para este estudio, se destaca que: a) anualmente ocurren entre 1.000 y 3.000 incendios forestales; b) anualmente se genera una superficie quemada total alrededor de 5.700-7.500 ha –esto equivale a cerca de un 10% del promedio total de la superficie quemada anualmente en todo el territorio nacional, según los reportes del MPPA (2014)–; c) la ocurrencia de incendios forestales se concentra durante el período seco, entre diciembre y abril-mayo, aunque los fuegos pueden ocurrir en cualquier época del año; y d) el programa sólo logró combatir y controlar el 13% del total de los incendios detectados.

Por otro lado, la quema de biomasa vegetal es una fuente importante de emisiones de GEI que conjuntamente con otras fuentes, como el uso de combustibles de origen fósil, son responsables por el aumento en las concentraciones atmosféricas de algunos GEI y, consecuentemente, alteran los patrones climáticos naturales. Estos cambios o variaciones del clima global pueden ser representados mediante escenarios y modelos climáticos, utilizados para simular el clima del futuro de acuerdo a la concentración de los GEI en la atmósfera.

En este sentido, vale mencionar los escogidos en la Segunda Comunicación Nacional en Cambio Climático (República Bolivariana de Venezuela, 2017) para simular el clima de la cuenca del río Caroní para los años 2030, 2060 y 2090. Estos son los escenarios RCP4.5 (condiciones intermedias) y RCP8.5 (condiciones pesimistas), y los modelos climáticos globales Eta_HADGEM2 y Eta_MIROC5, adaptados a escala regional para Venezuela por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Brasil (INPE).

Según República Bolivariana de Venezuela (2017), las proyecciones de precipitación en ambos modelos climáticos indican una reducción de la precipitación anual en la cuenca del río Caroní, tanto en los escenarios RCP4.5 como RCP8.5. Asimismo, las anomalías de la precipitación anual resultan negativas, indicando una disminución promedio cercana a -34% y -24%, respectivamente para los modelos Eta_HADGEM2 y Eta_MIROC5, en todos los períodos de tiempo del futuro (2030, 2060 y 2090).

En relación a la escorrentía del río Caroní, principal afluente de Guri, los modelos climáticos indican una disminución de su caudal medio anual, con anomalías de -11% y -22%, respectivamente para los modelos Eta_HADGEM2 y Eta_MIROC5, en el 2060, utilizando el escenario intermedio (RCP4.5); y aún más severas según el escenario RCP8.5, con anomalías de -35% y -25%, respectivamente para los modelos Eta_HADGEM2 y Eta_MIROC5.

Esta disminución de la precipitación y de la escorrentía resultante, viene asociada a una mayor frecuencia de los valores extremos mínimos, ocasionando cambios en los patrones y regímenes de lluvia; así como la disminución de los caudales de los ríos, de los cuales gran parte pasarán de caudales permanentes a semipermanentes o intermitentes (Naveda, 2015). Por otro lado, presumiendo el incremento sostenido de los gases de efecto invernadero, los modelos indican un aumento de la temperatura media de 0,3 a 3,5 °C para mediados de siglo (2060), dependiendo del lugar del país (Martelo, 2004 y Gabaldón, 2008).

De manera particular en el Parque Nacional Canaima, el incremento de la temperatura y la disminución de la precipitación (media anual) son factores que inducen a un mayor riesgo de incendios forestales, pues generan una mayor cantidad de combustible o biomasa seca intra e interanual, que propician cambios en el patrón espacio-temporal del fuego, en el tamaño del área quemada (incendios de gran magnitud), incrementan el número de eventos; además de la expansión de sabanas secundarias por efecto de las quemadas (sabanización) (Gabaldón 2008; Naveda, 2015; Yerena *et al.*, 2108).

Con base a lo expuesto anteriormente, se formuló la siguiente interrogante:

¿En qué medida la cuantificación de áreas quemadas utilizando datos satelitales de mediana resolución espacial y temporal como los del Landsat-8/OLI, contribuirían a generar estimaciones más precisas de las emisiones de los principales GEI resultantes de incendios forestales, así como determinar la dinámica espacio-temporal de la ocurrencia del fuego en el Parque Nacional Canaima?

Objetivo general

El objetivo general de la presente investigación es cuantificar áreas quemadas a partir de datos obtenidos del satélite Landsat-8/OLI, como parámetro biofísico indispensable para estimar de manera indirecta las emisiones atmosféricas brutas de los principales gases de efecto invernadero (CO_2 , CO , NO_x), resultantes de la ocurrencia de incendios forestales en el Parque Nacional Canaima, durante el período seco extendido 2014-2016. Todo ello, con la finalidad de suministrar estimaciones de emisiones atmosféricas más precisas que las encontradas en los modelos globales. La metodología propuesta incluye, además, la identificación del patrón de distribución espacio-temporal de las áreas quemadas.

Objetivos específicos

- a) Identificar visualmente en las imágenes Landsat-8/OLI las cicatrices dejadas por el fuego como resultado de la quema de biomasa vegetal, asociándolas a los diferentes tipos fisionómicos de la vegetación, cuantificando la superficie correspondiente afectada (área quemada).
- b) Identificar el patrón de distribución de las áreas quemadas y el tipo de vegetación afectada, según el tamaño de los polígonos de área quemada.
- c) Estimar la cantidad total de biomasa consumida por el fuego en cada una de las fisionomías vegetales afectadas, a partir del área total quemada y de los valores de densidad de biomasa y de la eficiencia de quema disponibles en la literatura.
- d) Suministrar estimaciones de emisiones atmosféricas brutas de CO_2 (gas de referencia) para cada una de las fisionomías vegetales estudiadas, en relación a la cantidad de biomasa consumida por el fuego.
- e) Suministrar estimaciones de emisiones atmosféricas brutas, de los principales gases de efecto invernadero (CO e NO_x) para cada una de las fisionomías vegetales estudiadas, a partir de un gas de referencia (CO_2).

Justificación e importancia de la investigación

La realización de este trabajo de investigación pretende dar respuesta a las incertidumbres presentes en la cuantificación del área quemada a partir de datos orbitales, como parámetro biofísico determinante, utilizado en los modelos indirectos de emisiones de los principales GEI. Estas incertidumbres, proceden de ciertas limitaciones que presentan los sistemas satelitales en cuanto a las resoluciones espacial y temporal y a los procedimientos de observación y cartografiado de los incendios forestales.

En la actualidad estas mediciones se realizan a escala global y la cuantificación de las áreas quemadas se derivan del número de focos de calor (indicadores de posibles fuegos activos) con resoluciones kilométricas (1 a 5 km) que no reflejan la verdadera dimensión de la actividad del fuego, cuando utilizados en estudios regionales o locales, como es el caso del Parque Nacional Canaima; provocando incertidumbres en las estimaciones del área quemada y, consecuentemente, en el cálculo de las emisiones globales de gases traza resultantes de la quema de biomasa (Kaufman *et al.*, 1990).

La metodología y procedimientos utilizados en este estudio suministrarán datos sobre la superficie quemada en cada tipo de fisionomía vegetal, acordes con los patrones espacio-temporales de la actividad del fuego, valiéndose de los productos de área quemada levantados a partir de datos orbitales con resolución espacial de 30 m y temporal de 16 días, y el análisis visual de las cicatrices del fuego. De esta forma, la presente investigación contribuirá a disminuir significativamente las incertidumbres actuales en las mediciones y modelación de las emisiones de los principales GEI resultantes de los incendios forestales en el Parque Nacional Canaima.

Igualmente, la metodología utilizada y los productos cartográficos generados podrán resolver la discrepancia que presentan los datos y registros disponibles acerca de la actividad del fuego, debido a la inexistencia o subestimación de las áreas quemadas en el Parque Nacional Canaima, incluso para todo el sistema de áreas protegidas; o bien, para todo el territorio nacional, si la metodología es replicada en cada una de las direcciones regionales del organismo con competencia en la materia de protección y control de

incendios forestales, como lo son el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC) y el Instituto Nacional de Parques (Inparques).

Cabe destacar que los resultados de la investigación suministrarán a estos organismos una base de datos georreferenciada de superficies quemadas relacionadas con los diferentes tipos de vegetación afectada, así como el tamaño y la frecuencia de ocurrencia de los incendios forestales, la cual es indispensable para comprender los patrones espacio-temporales del fuego, a fin de diseñar las políticas públicas y los planes de manejo del fuego, adaptados a las realidades del Parque Nacional Canaima.

Por otro lado, es importante destacar que Venezuela no dispone de inventarios regulares y sistemáticos acerca de las áreas quemadas, así como tampoco de las emisiones atmosféricas resultantes. En el caso de las Comunicaciones Nacionales, sólo se presentan estimaciones puntuales sobre el área quemada y/o de las emisiones atmosféricas, como las referidas para los años 1999 (Primera Comunicación) y 2010 (Segunda Comunicación). Asimismo, las estimaciones presentadas en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero carecen de datos confiables acerca del área quemada (o inexistentes como en la Primera Comunicación), puesto que no fueron cuantificadas con sensores de mediana o alta resolución espacial, ni tampoco fueron validados sus resultados. Además, presenta niveles de incertidumbre que, según República Bolivariana de Venezuela (2017), alcanza el 30%. Cabe resaltar que este nivel de incertidumbre ha sido presumiblemente subestimado, puesto que se utilizó una escala general cualitativa para su determinación, en lugar de información cuantitativa sobre el área quemada, levantada a partir de imágenes satelitales.

En este sentido, los resultados alcanzados en el presente trabajo contribuirán, igualmente, con el cumplimiento de los propósitos del Inventario de Emisiones Antrópicas de Gases de Efecto Invernadero no Controlados por el Protocolo de Montreal, referente a los compromisos país asumido por Venezuela, derivados de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en relación a la elaboración y actualización periódica del Inventario Nacional de Emisiones de Algunos Gases de Efecto Invernadero, resultantes de la quema de biomasa asociada a causas antropogénicas.

Asimismo, es importante resaltar que la elaboración de dicho inventario es un esfuerzo complejo y pionero, basado, normalmente, en trabajos realizados previamente por diversas instituciones nacionales aplicando la metodología sugerida por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), para cuya elaboración poco contribuyeron. Por lo tanto, es necesario utilizar procedimientos metodológicos objetivos, ajustados a la realidad nacional, así como revisar las técnicas y calidad de los productos y datos orbitales utilizados, los cuales han venido mejorando con el tiempo.

CAPÍTULO I

EL PARQUE NACIONAL CANAIMA: ESPACIO GEOGRÁFICO IMPRESCINDIBLE PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

1.1 Localización geográfica y delimitación del área de estudio

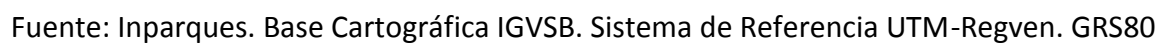
El presente trabajo de investigación fue realizado en el Parque Nacional Canaima (PNC), el cual se ubica en la región de la Guayana Venezolana, al sudeste del estado Bolívar. Comprende una superficie aproximada de 3.000.000 ha, en jurisdicción de los municipios Piar, Roscio, Sifontes y Gran Sabana, correspondiéndole a este último la mayor extensión del Parque. Su localización astronómica aproximada está dada por las siguientes coordenadas geográficas: entre los 4° 41' 00" y 6° 29' 00" de latitud norte; y entre los 60° 40' 00" y 62° 59' 00" de longitud oeste.

Sus límites están definidos por la poligonal establecida en el Decreto de ampliación del Parque Nacional Canaima N° 1.137, de fecha 09 de septiembre de 1975 (República de Venezuela, 1975), y por el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Sector Oriental del Parque Nacional Canaima, Decreto N° 1.640 del 05 de junio de 1991. El límite septentrional del Parque Nacional Canaima viene dado por una línea recta que parte desde la confluencia de los ríos Antabare y Caroní, siguiendo en dirección este franco hasta interceptar la fila divisoria de los municipios Piar y Roscio. Continúa en dirección sudeste por dicha divisoria hasta interceptar la coordenada 62° 00' 00" de longitud oeste, a partir de la cual sigue con rumbo norte franco hasta encontrar la curva de nivel de la Cota de 500 m. Al sur y al oeste limita con la margen izquierda del río Caroní, y al este con la carretera nacional troncal 10 y la margen izquierda del río Arabopó.

1.2 Características generales del Parque Nacional Canaima

El Parque Nacional Canaima fue creado el 12 de junio de 1962, según Decreto Ejecutivo N° 770, con una superficie aproximada de 1.000.000 ha (10.000 km²). Trece años más tarde, a raíz de las propuestas presentadas en el Plan Rector del año 1972, le fueron asignadas 2.000.000 ha adicionales (20.000 km²), mediante Decreto Ejecutivo N° 1.137 del 01 de octubre de 1975; convirtiéndose así en el segundo parque nacional más extenso de

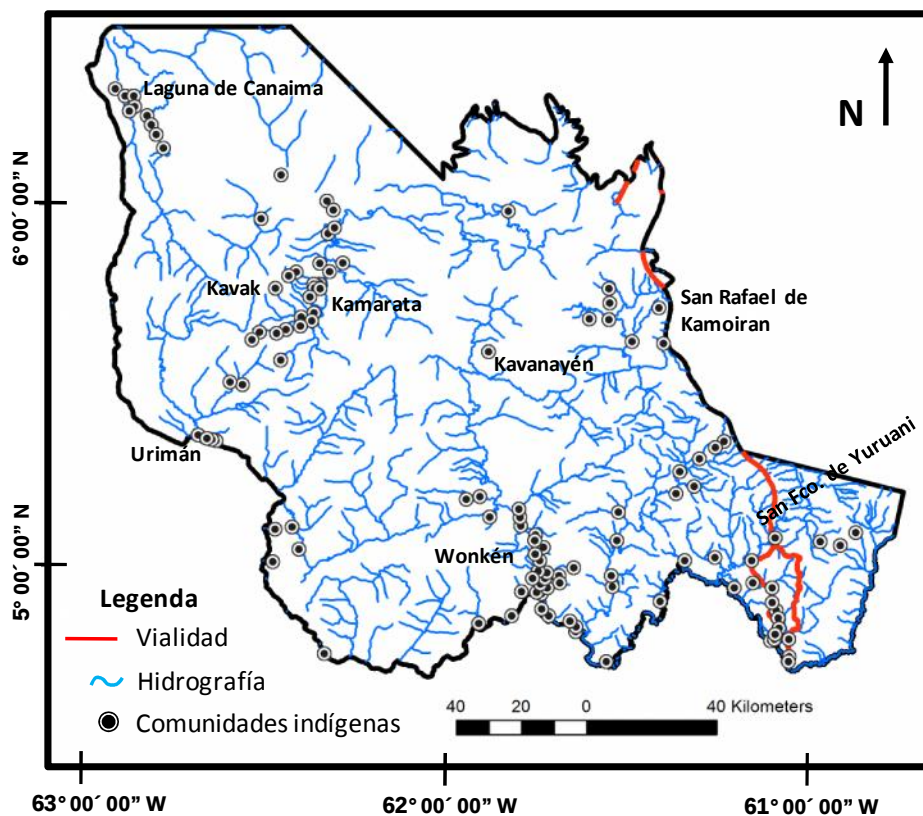
FIGURA 1.1. Localización geográfica del Parque Nacional Canaima.



El Parque Nacional Canaima se encuentra dividido administrativamente en dos sectores: Oriental y Occidental. En el año 1991 se decretó el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso para el Sector Oriental (Decreto N° 1.640), reglamentándose las actividades permitidas, restringidas y prohibidas para el manejo adecuado de sus recursos naturales. Sin embargo, hasta la fecha el Sector Occidental carece de su respectivo plan de ordenamiento y reglamento de uso, lo cual ha traído como consecuencia problemas específicos de uso y manejo de sus recursos naturales.

El Parque Nacional Canaima se encuentra habitado mayoritariamente por indígenas del grupo Pemón, descendientes de los Caribes, el cual incluye los subgrupos Kamarakotos, Arekunas y Taurepanes. Éstos, si bien hablan la misma lengua, mantienen entre los diferentes subgrupos variaciones de dialecto. La cultura indígena autóctona, asentada en esta región desde tiempos precolombinos, a pesar de haber experimentado importantes cambios en su modo de vida tradicional mantiene su identidad cultural, por lo cual representan un auténtico valor antropológico (Figura 1.2).

FIGURA 1.2. Localización de las comunidades indígenas del Parque Nacional Canaima.



El paisaje del Parque Nacional Canaima es de gran variedad fisiográfica y valores escénicos excepcionales, encontrándose casi en estado prístino y conformado por diferentes ecosistemas. El relieve presenta elementos de una enorme grandiosidad y belleza, únicos en Venezuela y el mundo. Desde el punto de vista geológico, forma parte del Escudo Guayanés, el cual se extiende desde el sur de Venezuela hasta el norte de Brasil, incluyendo a Guyana, Surinam y la Guyana Francesa. Las formaciones geológicas tienen su origen en el período Precámbrico y presenta rocas consideradas como las más antiguas de la geología venezolana.

Según Acta Terramaris (1993), los tepuyes se definen como: *“Un tipo peculiar de montaña, cerro o macizo del Escudo Guayanés, con forma de meseta o no, constituido por rocas sedimentarias (areniscas, cuarcitas) y/o ígneas que alcanzan una altitud mínima de 800-1.000 m y máxima de 3.015 m sobre el nivel del mar. Además, presenta en sus laderas y cumbres, sujetas a un clima de tipo húmedo lluvioso, ecosistemas de media y alta montaña (meso y submicrotérminos), que diferencian a este tipo de montaña claramente de otras montañas tropicales, desde el punto de vista biológico, por tener estos ecosistemas montanos tepuyanos, siempre una variedad de comunidades vegetales y animales específicas y únicas (endémicas).”* Esta definición de tepuy, se basa en dos criterios, uno fisiográfico y otro ecológico, por lo que un tepuy debe ser considerado como una unidad físico-biológica, presentándose en la naturaleza como un conjunto de ecosistemas (Provincia Pantepui), exclusivo de la región del Escudo Guayanés.

Entre los tepuyes más resaltantes del Parque Nacional Canaima (altitudes máximas en msnm) se tienen: en el macizo Los Testigos: Kamarkawarai-tepui (2.400 m), Tereke-yurén-tepui (1900 m), Murisipán-tepui (2.350 m) y el Aparamán-tepuy (2.100 m). En el Macizo Auyán: Auyán-tepui (2.450 m), Cerro la Luna (1.650 m), Cerro el Sol (1.750 m) y el Uaipán-tepui (1.950 m). En el Macizo del Aprada: Aprada-tepui (2.500 m) y el Araopán-tepui (2.450 m). En el macizo de Chimantá: Murey (Eruoda)-tepui (2.650 m), Tirepón-tepui (2.600 m), Apakará-tepui (2.450 m), Abakapá-tepui (2.400 m), Agparamán-tepui (2.400 m), Toronó-tepui (2.500 m), Chimantá-tepui (2.550 m), Churí-tepui (2.500 m), Akopán-tepui

(2.200 m), Amurí-tepuy (2.200 m), Angasima-tepui (2.250 m) y el Upuigma-tepui (2.100 m). Además del Cerro Venado (1.320 m) y el Kurún-tepui (1.100) (Huber 1995).

En el área de estudio, se pueden reconocer tres grandes unidades fisiográficas: a) Las tierras bajas, situadas entre los 0 y 500 m de altitud aproximadamente, caracterizada por presentar un relieve de colinas bajas y temperaturas medias anuales superiores a los 24°C. Estas tierras comprenden la parte baja de los valles de los Ríos Caroní y Karrao; b) Las tierras intermedias, situadas entre los 500 y 1.500 m de altitud, aproximadamente, donde predominan relieves de colinas, montañas bajas, planicies altas onduladas, laderas bajas de los tepuyes y las cimas de los tepuyes bajos, y temperaturas medias anuales entre los 18 °C y 24 °C. Estas tierras se distribuyen por toda el área de estudio, cubriendo la mayor parte de la misma; y c) Las tierras altas, situadas entre los 1.500 y 3.000 m de altitud, aproximadamente, con temperaturas medias anuales entre 8 °C y 12 °C, constituyendo el rasgo fisiográfico más característico del área de estudio, representadas por montañas de areniscas tabulares de topos planos y acantilados casi verticales, conocidas localmente como tepuyes. Esta división fisiográfica general, se correlaciona significativamente con los diferentes tipos de vegetación, como resultado de una clara zonificación climática, principalmente en cuanto a temperatura (Huber, 1995).

Finalmente, cabe destacar que el área de estudio ocupa una parte representativa de la Guayana Venezolana, la cual constituye una de las regiones de mayor endemidad de la parte norte de Sudamérica, en cuanto a la flora se refiere. De un total de 9.411 especies conocidas, 2.136 (22.7%) son endémicas para esta región. Si consideramos al Escudo Guayanés, el número de especies restringidas alcanza las 3.763 especies (40%). Asimismo, existen 1.786 géneros conocidos, de los cuales 34 (1,9%) son endémicos para la Guayana Venezolana y 118 (6,6%) lo son para el Escudo de Guayana (Berry *et al.*, 1995). La fauna, por su parte, presenta una alta diversidad de especies, desarrollada principalmente en el ecosistema de bosque montano y un alto grado de endemismo a nivel regional (Huber, 1995).

1.3 Importancia del Parque Nacional Canaima en el contexto internacional, nacional y regional

A nivel internacional el aspecto más resaltante del Parque Nacional Canaima, se refiere a su declaración como Sitio de Patrimonio Mundial Natural de la Humanidad, realizada en junio de 1994 por el Comité de la Convención para la Protección del Patrimonio Cultural y Natural del Mundo de la UNESCO y ratificada posteriormente por el Gobierno Nacional en 1995. Es así como el Parque Nacional Canaima ha sido anexado a la lista de los “*World Natural Heritage Sites*” (Sitio de Patrimonio Mundial) que, por sus rasgos y valores naturales más sobresalientes, deben ser preservados para toda la humanidad, asegurando su protección a través de una estrecha cooperación entre los países miembros (UNESCO, 2018). Esto convierte a Canaima en un patrimonio común que le concierne a toda la humanidad, obligando al Estado Venezolano a resguardar y difundir sus valores y bellezas escénicas naturales.

El Parque Nacional Canaima se caracterizó por presentar gran actividad turística a nivel internacional y nacional, recibiendo durante todo el año visitantes de diferentes nacionalidades y regiones del país. Sin embargo, en la actualidad la actividad turística se ha visto mermada, caracterizada únicamente por un escaso turismo nacional que se desplaza a lo largo de la Troncal 10 y de turistas provenientes del Brasil con destino mayoritariamente al Roraima tepuy.

En cuanto al contexto regional, el Parque Nacional Canaima se encuentra situado en la Región de Guayana, donde la economía se fundamenta principalmente en la actividad minera, el comercio y los servicios. Dentro de este contexto, el área de estudio participa en el desarrollo integral de la Región Guayana, cumpliendo una función reguladora importante al proteger los recursos hídricos de gran parte de la margen derecha del Río Caroní, afluente principal de la Represa de Guri, la cual es el motor del sistema hidroeléctrico del Caroní, que satisface el 65% de la demanda total eléctrica del país y concentra el 90% de la generación hidroeléctrica nacional.

La población residente del área de estudio mantiene importantes relaciones socioeconómicas con los principales centros poblados de la región, en orden de

importancia: Ciudad Bolívar, Puerto Ordaz, Santa Elena de Uairén y La Paragua. La mayor parte de los bienes y servicios requeridos por la población habitante del área de estudio se adquieren en estos centros poblados. Esta demanda se concentra en el sector comercio y servicios, donde son requeridos alimentos, vestido, materiales para la construcción, combustible, servicios médicos y de educación especializados, entre otros. Es importante señalar que en la actualidad el dinamismo y la movilidad social y económica de todo el sector sur del Parque funciona desde y hacia los mayores centros poblados al norte del estado de Roraima, Brasil; lo cual se ha convertido en una situación inédita en virtud de la intensidad y magnitud económica.

El acceso al Parque se realiza por vía terrestre, aérea o fluvial. En el Sector Occidental el acceso, así como el traslado de personas desde y hacia los diferentes centros poblados, se realiza, principalmente, por vía aérea y en menor proporción por vía fluvial, puesto que no existe ninguna conexión con la red vial terrestre nacional. Los centros poblados de mayor dinamismo y actividad turística de este sector son: Laguna de Canaima (con el mayor número de visitantes), seguido de Urimán, Kamarata y Kavak. Cabe destacar que en todos estos centros las comunidades indígenas se consagraron a la economía del turismo desde la creación del Parque.

En el caso del Sector Oriental, el principal acceso terrestre se realiza a través de la carretera nacional Troncal 10, que comunica las poblaciones existentes entre Puerto Ordaz, El Dorado, Santa Elena de Uairén e Ikabarú, todas ellas ubicadas fuera de los linderos del Parque Nacional Canaima. Entre los principales centros poblados de este sector se tienen: Kavanayén, al cual se le puede acceder por vía terrestre a una distancia aproximada de 70 km de la troncal 10, Uonkén y San Francisco de Yuruaní, este último localizado a ambas márgenes de la troncal 10.

1.4 El Parque Nacional Canaima y su papel en la adaptación y mitigación al cambio climático

Los parques nacionales, hasta la fecha, no cuentan con el verdadero valor que les corresponden en la sociedad, a pesar de los beneficios que éstos aportan, de las importantes funciones que cumplen y del papel fundamental que tienen en el

mantenimiento de la vida sobre la Tierra en todas las escalas jerárquicas. Los parques nacionales hacen posible diferentes actividades económicas, proporcionando materia prima, alimento y agua, entre otros recursos, además de oportunidades recreativas y de realización espiritual a toda la población humana, y lo que es aún más importante, sus ecosistemas son esenciales para la realización de los ciclos materiales globales como el ciclo del carbono y del agua (UICN, 1993).

Por otra parte, los parques nacionales cumplen funciones reguladoras importantes con las cuales ayudan a minimizar ciertos fenómenos y procesos impactantes de la biosfera como el desgaste de la capa de ozono, el calentamiento del planeta, las lluvias ácidas, la desertificación, la contaminación de los océanos, la extinción de especies vegetales y el problema de los desechos tóxicos, entre otros (Inparques, 1997).

Entre las funciones reguladoras más importantes, se tienen: regulación de la composición química de la atmósfera y los océanos, regulación del clima, protección de cuencas, captación de agua, mantenimiento de la calidad del aire y del agua, protección contra la erosión y control de sedimentos, fijación de energía solar y producción de biomasa, almacenamiento y reciclaje de materia orgánica, nutrientes y desechos, sustento de las cadenas alimenticias y los ciclos de nutrientes. Al mismo tiempo, contribuyen en el control biológico, sirven como hábitats para criaderos y especies migratorias y mantienen la diversidad biológica, entre otras (UICN, 1993).

De esta manera, el Parque Nacional Canaima es parte esencial de la respuesta a la adaptación ante los efectos adversos del cambio climático, al reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los ecosistemas, especialmente en lo referente a la regulación del clima local y regional, amortiguar impactos de eventos extremos y garantizar la seguridad hídrica y energética del país. Además, cumple una función importante como estrategia de mitigación al reducir las emisiones de GEI y contribuir a aumentar las capacidades de absorción y almacenamiento de los mismos, como factor decisivo para la sobrevivencia de todas las especies animales y vegetales, así como el mantenimiento de los servicios ecosistémicos esenciales para la vida de la población humana.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL PARA EL LEVANTAMIENTO DE ÁREAS QUEMADAS CON DATOS ORBITALES Y ESTIMACIONES GLOBALES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS RESULTANTES DE LA QUEMA DE BIOMASA

2.1 Antecedentes de la Investigación

Los trabajos publicados acerca de los procedimientos y metodologías para identificar y cuantificar áreas quemadas y estimar emisiones de GEI resultantes de la quema de biomasa utilizando datos orbitales, son escasos en el país. Sin embargo, existe una amplia literatura de estudios realizados en biomas de bosques y sabanas de las regiones tropicales del planeta, como el Amazonas y el Cerrado brasileiro, las sabanas del continente africano, los bosques y matorrales de la cuenca del Mediterráneo, entre otros, los cuales pueden ser aplicados a las condiciones ecológicas del fuego en el Parque Nacional Canaima. Estos estudios se presentan a seguir:

2.1.1 Cuantificación de áreas quemadas utilizando datos orbitales

La identificación y cuantificación de las superficies quemadas a partir de datos orbitales puede ser abordada desde dos puntos de vista diferentes. El primero, procura observar las quemas en el momento en que éstas se producen, cuando todavía están activas, usando la información adquirida en la región del infrarrojo medio (IRM) y térmico (IRT) del espectro electromagnético; en el segundo caso, el objetivo es observar las áreas después de la ocurrencia de los incendios, mediante la detección de las cicatrices dejadas por el fuego en el terreno, usando datos adquiridos, principalmente, en las regiones del visible (A-azul, V-verde y R-rojo), infrarrojo cercano (IRC) e infrarrojo medio del espectro electromagnético.

Los estudios acerca de la identificación y mapeo de las cicatrices del fuego con datos orbitales, se originaron con el satélite de recursos naturales Landsat-1, en 1972. Wightman (1973) utilizó la banda 6 (IRC) (0,7-0,8 μm) del sensor MSS (Sistema de Escaneo Multiespectral, por sus siglas en inglés) y Deshler (1974) las bandas 6 y 7 (IRC) (0,8-1,1 μm) del mismo sensor para monitorear áreas quemadas en las sabanas del África, durante el

periodo seco. Ambos indicaron que las imágenes adquiridas con el sensor MSS eran adecuadas para este tipo de estudios.

Santos y Aoki (1981), realizaron un seguimiento de áreas quemadas en el Parque Nacional de Brasilia (Brasil), valiéndose de imágenes del sensor Landsat-3/MSS, específicamente de las bandas 5 (Rojo) (0,6-0,7 μm) y 7 para el análisis visual, y las bandas 6 y 7 para la clasificación digital. Igualmente, Ponzoni (1986) utilizó imágenes multi-temporales del satélite Landsat-5/TM, bandas 4 (IRC) (0,76-0,90 μm) y 5 (IRM) (1,55-1,75 μm), tanto para el análisis visual como para la clasificación automática. Los resultados de estos estudios comprobaron la eficiencia de estas bandas para la discriminación entre las áreas quemadas y otras cubiertas terrestres presentes en las imágenes. Estos autores concluyeron que el uso de imágenes adquiridas en diferentes fechas les permitió observar la recuperación de la cobertura vegetal en las áreas afectada por el fuego.

Pereira (1992), basado en el número de focos de calor detectados por el sensor AVHRR/NOAA-11 y 12, en la estación seca de 1989, experimentó la metodología de detección, localización y estimación del área quemada en el Cerrado brasileiro (bioma de sabanas), utilizando una corrección obtenida a partir de datos orbitales Landsat-5/TM. Las estimaciones indicaron que cerca de 196.000 km^2 de la superficie de este bioma fue quemada en el período comprendido entre el 8 de junio al 12 de septiembre de 1988. Los resultados indicaron, además, que los datos Landsat-5/TM permitieron realizar evaluaciones espaciales tanto en la forma del área quemada como en la superficie, siendo éstas más exactas que las obtenidas únicamente a partir de los datos del satélite AVHRR/NOAA.

Krug y Santos (2000), mediante la interpretación visual de imágenes Landsat-5/TM estimaron el área total quemada en el bioma Cerrado (sabanas) durante el periodo de quemas (mayo-noviembre de 1999), discriminándola por el tipo de fisionomía vegetal afectada por el fuego. Para estimar el área quemada adoptaron tres enfoques diferentes: a) extrapolación del área quemada identificada en 118 imágenes, para todo el Cerrado y para todo el periodo seco; b) extrapolación del área quemada identificada en 42 imágenes adquiridas en los meses de junio y julio solamente, para todo el Cerrado; y c)

extrapolación del área quemada identificada en 20 pares de imágenes (imágenes adquirida en dos fechas diferentes para una misma área), para todo el Cerrado y durante todo el periodo seco. Los resultados de las estimaciones del área quemada utilizando los métodos (a), (b) y (c) fueron, respectivamente, 315.545 km², 187.224 km² y 119.865 km². Los autores indicaron que la estimación generada a partir del método (b) fue el más confiable.

França (2001) utilizó datos Landsat-5/TM para validar y ajustar el algoritmo de identificación de cicatrices del fuego, a partir de mosaicos quincenales de imágenes del sensor AVHRR/NOAA-14, en la región continua del cerrado brasileiro. Estimó que el área quemada durante el 01 de mayo de 1988 al 30 de abril de 1999 fue de, aproximadamente, 429.000km² (19% del área total estudiada). Los datos TM mostraron que el 2% del área quemada estaba asociada a quemas con superficies menores a 0,5 km², mientras que el 74% de la superficie total quemada del Cerrado estaba asociada a quemas mayores a 10 km².

Rivera-Lombardi (2001), comparó diferentes métodos de análisis espacial a fin de identificar áreas vulnerables a la ocurrencia de incendios forestales causados por actividades antrópicas, en un sector (Paragominas) de la cuenca hidrográfica del río Capim del estado Pará (Brasil). Utilizando un Sistema de Información Geográfica, se valió de un mapa topográfico y una imagen Landsat-5/TM para generar cuatro capas de información (uso de la tierra, declividad del terreno, vialidad e hidrografía). Estas capas fueron integradas usando diferentes métodos de inferencia espacial (Operadores Booleanos, Procesos de Jerarquía Analítica -AHP- y Clasificación Fuzzy Gama) mostrando las áreas de mayor vulnerabilidad. El método AHP fue el que presentó el mejor desempeño.

Krug *et al.* (2004) y Rivera-Lombardi *et al.* (2004a y 2004b), realizaron estudios en dos áreas seleccionadas del Cerrado brasileiro (sectores Chapada dos Veadeiros y Araguaia) utilizando imágenes Landsat-5/TM durante un período de cinco años (1996-2000), con la finalidad de estimar el área quemada, la recurrencia de incendios forestales y la permanencia de las cicatrices del fuego. Los resultados mostraron una disminución interanual del área quemada de aproximadamente un 60%, durante el período de estudio,

consistentes para ambas áreas estudiadas; mientras que las fisionomías más afectadas (sabana arbolada y sabana con matorrales) se mantuvieron inalteradas.

Libonati *et al.* (2015), utilizaron un algoritmo para la identificación automática de áreas quemadas (AQM) en las Sabanas brasileras, utilizando datos del sensor MODIS/Aqua, generando mapas mensuales de áreas quemadas con 1 km de resolución espacial para el período 2005-2014. El algoritmo se basó en un índice de vegetación sensible a la quema de la vegetación, apoyado en valores diarios de reflectancia de la región del infrarrojo cercano y medio, valiéndose también de la información de fuegos activos detectados a partir de múltiples sensores (GOES, NOAA-AVHRR, MSG/SEVIRI, MODIS/Aqua y Terra). Los resultados fueron validados con datos de áreas quemadas discriminadas con imágenes del sensor Landsat-5/TM (referencia). Los resultados obtenidos mostraron una sobrestimación en la cuantificación de las áreas quemadas identificadas por el algoritmo AQM de 1,3 veces mayor que la obtenida con las imágenes de referencia.

Salazar-Gascón y Ferreira (2018), evaluaron la frecuencia y severidad de los incendios forestales ocurridos en la Gran Sabana en el período 2003 a 2014, en relación a los acontecimientos climáticos extremos, como ENOS (El Niño-La Niña/Oscilación del Sur) y AMO (Oscilación Multidecadal del Atlántico-Tropical Norte) y las dinámicas de la vegetación en la Gran Sabana. Fueron utilizados datos de focos de calor, pluviosidad, anomalías en las Temperaturas de Superficie del Mar (TSM) en el Océano Pacífico y Atlántico e imágenes de satélites. Los resultados indicaron que la sequía prolongada contribuye con: a) la degradación de los sistemas arbóreos, la expansión de los sistemas herbáceos y el aumento en la frecuencia de las áreas quemadas; b) AMO y/o La Niña contribuyen en la expansión de los sistemas arbustivos, y en menor grado en la recuperación de los sistemas arbóreos; y c) la distribución de las cicatrices del fuego se encuentra asociada a los cambios en los patrones culturales de subsistencia de las poblaciones locales. Se concluye que la severidad y frecuencias de los incendios forestales en la Gran Sabana son un proceso multifactorial y multiescalar que ocurren como producto de la sincronía de factores ecosistémicos (vegetación), sociales (proximidad a los centros poblacionales) y climáticos (ENOS y AMO).

Todos estos trabajos de investigación reportan las bondades del uso de imágenes satelitales de la serie Landsat en la identificación y cuantificación de áreas quemadas. Por otro lado, se demuestra que las características orbitales de los datos de la serie Landsat se adecuan de manera eficaz al comportamiento y la dinámica del fuego en ecosistemas de vegetación tropical, con lo cual es posible obtener estimaciones más precisas de las emisiones atmosféricas resultantes de la quema de biomasa vegetal.

2.1.2 Comportamiento espectral de las áreas quemadas en la región óptica del espectro electromagnético (visible, infrarrojo cercano y medio)

Región del visible (0,4 – 0,7 μm)

Fuller y Rouse (1979) realizaron mediciones con un espectro-radiómetro en superficies quemadas en un bosque boreal clímax, después de 1, 2 y 25 años, y observaron un ligero incremento en la reflectividad de estas áreas, en esta región del espectro, en comparación con áreas no afectadas por el fuego durante 80 años.

Tanaka *et al.*, (1983), quemaron intencionalmente pilas de ramas de pinos, midiendo inmediatamente la reflectividad de las pilas parcialmente quemadas, obteniendo un aumento de la reflectividad entre un 5 y 8% para longitudes de onda menores a 0,72 μm .

Todos estos datos levantados en campo representan las mediciones de la reflectividad de superficie, es decir, de las propiedades intrínsecas de las cubiertas terrestres no afectadas por los efectos de absorción y dispersión atmosférica, ni por las modificaciones que el relieve ocasiona en las geometrías de iluminación solar y de observación desde el sensor. En principio, estos datos de campo representan la caracterización más confiable de las propiedades espectrales de las áreas naturales afectadas por el fuego (Pereira *et al.*, 1997).

Ponzoni *et al.* (1986), utilizaron imágenes Landsat-5/TM para estudiar las diferentes fisionomías de la vegetación del Cerrado brasileiro y observaron que en la banda 3 de este sensor, las cicatrices del fuego con dos semanas de ocurrencia mostraron niveles digitales

similares a los asociados con los cuerpos de agua, y entre seis y ocho niveles digitales más bajos que los presentados por el estrato arbóreo/arbustivo.

Otros estudios realizados por Siljeström y Moreno (1995) y Silva (1996), reportaron que sus resultados (en valores relativos de la reflectividad medida) fueron influenciados por los efectos atmosféricos. Destacando que en la región visible del espectro electromagnético el efecto dominante es la dispersión atmosférica, ocasionando un aumento de la reflectividad medida, en comparación con la reflectividad observada próxima a la superficie terrestre.

López y Caselles (1991), analizaron áreas con formaciones arbórea/arbustivas mediterráneas, en España, en diferentes períodos después de la ocurrencia del fuego; y reportaron un aumento de los valores de reflectividad de las áreas quemadas utilizando las bandas 1, 2 y 3 (A-azul, V-verde y R-rojo) del sensor Landsat-5/TM, en comparación con los valores medidos en un área similar antes de la quema.

Pereira y Setzer (1993) analizaron la imagen Landsat-5/TM número 227/067, adquirida sobre la parte norte del estado de Mato Grosso (Brasil) en agosto de 1985, cubriendo una región recientemente deforestada, donde discriminaron los siguientes elementos: cicatrices de fuego, bosque tropical primario, vegetación secundaria (pastos y gramíneas). Los resultados indicaron que en las bandas 1 y 2 las cicatrices de fuego mostraron la menor variación de los niveles digitales, presentando un comportamiento espectral similar al de otras coberturas terrestres, lo que sugiere que estas bandas no son las más adecuadas para discriminar biomasa quemada.

Región del infrarrojo cercano (0,7 – 1,3 μ m)

Los cambios causados por el fuego en las propiedades espectrales de la vegetación son más evidentes en la región del infrarrojo cercano que en la región del visible del espectro electromagnético, especialmente cuando las condiciones anteriores a la ocurrencia del fuego presentan altos contenidos de material combustible y los procesos de combustión producen grandes cantidades de residuo de carbón vegetal.

En áreas de vegetación escasa, típicas de ecosistemas semiáridos, donde los suelos presentan niveles digitales de reflectividad más bajos, la producción de carbón vegetal es menos abundante, la reducción de biomasa es menor y la cicatriz del fuego se diferencia menos de la respuesta espectral de las condiciones anteriores a la quema (Pereira *et al.*, 1997).

En mediciones de campo realizadas con un espectro-radiómetro, Fuller y Rouse (1979) observaron un aumento en los valores de reflectividad en la región infrarroja del espectro electromagnético, de la misma manera que para la región visible. Razafimpanilo *et al.* (1995), utilizando los datos de Frederiksen *et al.* (1990), en un modelo de detección de incendios con el sensor AVHRR, concluyeron que existe una aproximación razonable entre los valores de reflectividad obtenidos a partir de sensores orbitales y aquéllos obtenidos en la superficie, con sensores de campo.

López y Caselles (1991), utilizando el sensor Landsat-5/TM, observaron una disminución significativa de la reflectividad en la región del infrarrojo cercano, señalando que la banda 4 de este sensor fue la única donde la reflectividad de las áreas quemadas disminuyó. Silva (1996), utilizando el mismo sensor, reportó valores promedio de reflectividad en la región del infrarrojo cercano, para varios incendios, menores que los obtenidos en otros tipos de cobertura terrestre (suelo descubierto, áreas urbanas, áreas agrícolas y bosques), excepto para los cuerpos de agua.

Pereira y Setzer (1993) observaron que los niveles digitales de menor valor encontrados en la banda 4 del sensor Landsat-5/TM correspondían a quemas recientes. Esta banda demostró ser la banda más adecuada para discriminar cicatrices de fuego; y que los cuerpos de agua, que presentaron niveles digitales bajos, no se confundieron con las mismas.

En general, la respuesta espectral en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, proveniente de las áreas afectadas por el fuego, es más bajo que el del resto de las coberturas terrestres analizadas, a excepción de los cuerpos de agua. La persistencia de este patrón espectral observado en estas áreas varía de un año (en los

biomas boreales o templados), a dos semanas (en las formaciones herbazales tropicales) (Pereira *et al.*, 1997). Esta variación se debe al alto coeficiente de absorción que tienen los residuos resultantes de las quemas en esta región del espectro, en comparación con la vegetación verde o seca (Malingreau, 1990).

Región del infrarrojo medio (1,3 – 3,0 μm)

Las observaciones de la superficie terrestre en esta región del espectro sólo fueron posibles desde el lanzamiento del satélite Landsat-4, que transportaba un sensor con dos canales en la región del infrarrojo medio (IRM): la banda 5 (1,55-1,75 μm) y la banda 7 (2,08-2,35 μm).

López y Caselles (1991), al estudiar formaciones arbórea/arbustivas mediterráneas, encontraron los mayores incrementos en la reflectividad de las áreas quemadas en la banda 7 (de 0,08 antes de la quema a 0,18 después de la quema) y la banda 5 (0,17 antes de la quema a 0,22 después de la quema) del sensor Landsat-5/TM. La alta reflectividad en la banda 7 se mantuvo hasta un año después de la quema, disminuyendo a partir del segundo año y retornando a los valores observados anteriores a la quema después de seis años.

Las cicatrices de fuego analizadas por Pereira y Setzer (1993) fueron discriminadas correctamente en la banda 5 del sensor Landsat-5/TM, en la cual fue posible distinguir las diferencias espectrales entre las cicatrices de fuego reciente y antiguas. Por su parte, la banda 7 detectó satisfactoriamente los fuegos activos y los frentes del fuego presentes en la imagen, los cuales no pudieron ser detectados por cualquier otra banda de este sensor.

Según Pereira *et al.* (1997), los cambios inducidos por el fuego en las propiedades espectrales de la vegetación observada en la región del infrarrojo medio del espectro electromagnético, son similares a las observados en la región del visible. En los bosques y en los matorrales templados, las quemas más recientes presentaron mayor brillo que la vegetación en condiciones anteriores a la quema; por el contrario, las formaciones herbáceas y las sabanas arboladas tropicales se presentan más oscuras. Una posible explicación a este comportamiento de la vegetación en la región del visible, sugerida por

los autores, se refiere a las diferencias en la estructura del dosel y en la fenología de la vegetación observada.

Finalmente, luego de haberse revisado importantes estudios acerca del comportamiento espectral de las áreas quemadas en la región óptica del espectro electromagnético, se puede concluir que la información obtenida con las bandas del visible, infrarrojo cercano y medio del espectro electromagnético son las más apropiadas para los estudios acerca de la ocurrencia del fuego en las regiones tropicales del planeta; por tanto su utilización en la presente investigación permitirá obtener información acerca de la frecuencia, intensidad, extensión y magnitud de los incendios forestales ocurridos en el Parque Nacional Canaima.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 La vegetación de sabana

La vegetación de Sabana se considera de suma importancia en este estudio, puesto que constituye el bioma de mayor afectación por el uso del fuego como práctica de manejo y subsistencia de la población residente. Además, hasta la fecha, es motivo de discusión su ocurrencia y transformación paisajística y ecológica debido a factores climáticos, edáficos o hidrológicos, incluyendo su afectación y adaptación a la incidencia de los propios incendios de vegetación, propios del Parque Nacional Canaima. A seguir, se presentan los fundamentos teóricos relacionados con sus características, concepto y distribución, así como su adaptación a la ocurrencia del fuego.

2.2.1.1 Concepto, estructura y fisionomía

El término Sabana fue empleado por primera vez por Oviedo y Valdez (1851) para designar los "Llanos Arbolados de Venezuela" (formación graminoide, en general cubierta por plantas leñosas) y, posteriormente, introducido en África como Savannah por naturalistas españoles (Tansley, 1935). Varios autores utilizaron otros términos para designar este tipo de vegetación: Humboldt (1805), citado por Veloso *et al.* (1991), lo llamó "Estepa", Drude (1897) de "Estepa Tropical" y Schimper (1903) de "Bosque de Sabana" (para denotar las formaciones gramíneas arboladas). En Brasil, Warming (1973)

introdujo la terminología "Campos Cerrados o Vegetación Xerófila" y, posteriormente, el Proyecto RADAMBRASIL (1981) adoptó el término "Sabana" (Cerrado). En este trabajo, se adoptó la grafía Sabana (en mayúscula) para representar el bioma predominante en la región de la Gran Sabana y en general en toda la Guayana Venezolana, y la grafía sabana (en minúscula) para representar un tipo fisionómico de este bioma (por ej. sabana arbustiva).

La Sabana puede ser considerada como una formación vegetal específica de las zonas tropicales y subtropical que no exceden de 1.000 - 1.200 m de altitud, donde el estrato herbáceo es una parte predominante del bioma, pudiendo presentar o no elementos leñosos en forma de arbustos o árboles. Los principales procesos energéticos en este bioma (captación de la radiación solar, producción de biomasa, entre otros) ocurren en el estrato herbáceo próximo al suelo, siendo este estrato compuesto, principalmente, por gramíneas y arbustos pequeños de origen tropical (Huber, 1987). Frost *et al.* (1986), citados por Walker (1987), definen las Sabanas como ecosistemas tropicales o circuntropicales que se caracterizan por una marcada estacionalidad (periodos seco y húmedo) relacionada con estrés hídrico, cuya vegetación aparece como una cobertura discontinua de elementos leñosos. Sarmiento (1984), propone aplicar el término para referirse a un contexto ecosistémico, más que a la vegetación en sí, definiendo a los ecosistemas de Sabanas como aquellos ubicados en el trópico cálido, dominado por una cobertura herbácea compuesta por gramíneas macolladas y hierbas de más de 30 cm de altura en su estado de máxima actividad.

En la actualidad, las Sabanas se consideran ecosistemas naturales que están determinados por condicionantes de orden edafoclimático, donde se combinan limitaciones en la disponibilidad de nutrientes y de agua superficial y subterránea. Estos factores, pueden compensarse mutuamente dando lugar a diferentes condiciones de estrés de nutrientes y agua. Asimismo, el fuego es considerado un factor determinante, además de los procesos de herbivoría (Sarmiento, 1984; Medina y Silva, 1990; Solbrig, 1996).

La Sabana presenta un conjunto variado de hábitats y fitofisionomías según la ocurrencia de determinado estrato, que incluye, según Sarmiento (1984): a) la sabana herbácea

(formación herbácea sin elementos leñosos), b) la sabana arbustiva (sabanas con especies leñosas bajas (menos de 8 m) formando un estrato más o menos abierto), c) la sabana arbolada (sabanas con árboles de más de 8 m), d) el parque sabana (sabanas con árboles altos en pequeños grupos), y e) el parque (mosaico de unidades de sabana y bosques).

2.2.1.2 Ocurrencia y distribución

Las Sabanas han sido consideradas una formación vegetal de transición entre formaciones desérticas áridas y bosques húmedos, aceptándose la influencia del clima como factor determinante en la ocurrencia de este bioma, lo que condujo al origen del término "Sabana climática". Sin embargo, hoy en día, este concepto se considera incorrecto, ya que las condiciones climáticas por sí solas, no son suficientes para explicar la ocurrencia de las diferentes fisonomías de las Sabanas o Cerrados en el mundo, tanto bajo una óptica geográfica como ecológica (Huber, 1987).

Uno de los más importantes avances científicos relacionados con el bioma de Sabana fue realizado por Arens (1958), cuando estudiaba la ecología de las Sabanas. Por primera vez, se reconoció que la deficiencia de nutrientes en los suelos de la Sabana explicaba la ocurrencia de las diferentes fisonomías de este bioma (oligotrofia), antes atribuida a la limitación en la disponibilidad de agua en el suelo. Posteriormente, Goodland (1972), demostró que existía una alta correlación entre la deficiencia de nutrientes y la toxicidad del aluminio en los suelos de las Sabanas, con lo cual formuló el concepto de escleromorfismo. Sin embargo, estos conceptos tampoco explicaron satisfactoriamente la distribución actual de los ecosistemas de Sabanas en el Neotrópico, ya que correlaciones similares entre oligotrofismo y escleromorfismo se encontraron en ciertos tipos de bosques de la Amazonía (Klinge y Medina, 1979).

Folster y Huber (1984), en estudios realizados en mosaicos de Savana/bosque en el sur de Venezuela, concluyeron que la humedad, los nutrientes del suelo y las características geomorfológicas determinan el patrón intrínseco de las transiciones abruptas de comunidades de plantas distintas, en una misma área de estudio. De manera general, esto confirma que las condiciones del suelo ejercen mayor influencia en el establecimiento del

equilibrio natural entre las comunidades de Sabana y bosque, aunque el régimen de agua del suelo también es importante.

Según Haffer (1982), las repetidas fases de expansión y aislamiento de las formaciones vegetales de bosque y Sabana, ocurridas como consecuencia de los cambios climáticos durante el pasado geológico reciente, pudieron haber estimulado los procesos de adaptabilidad de la flora de las Sabanas preexistentes en el Neotrópico. Probablemente, las tierras antiguas de los escudos de la Guayana Venezolana y del Brasil han servido como áreas de especialización de algunas familias herbáceas como *Rapateaceae*, *Xyridaceae* y *Ericaulaceae*, cuya mayoría de géneros se encuentra en el trópico americano. Por otro lado, la fisionomía de sabana herbácea probablemente se estableció más recientemente y, sin duda, se adaptó mejor al impacto del fuego, lo que podría ser la razón de su amplia distribución actual (Huber, 1987).

2.2.1.3 El fuego en la vegetación de Sabana

De modo cuantitativo es difícil establecer, en tiempo histórico y geológico, el origen de la quema de biomasa, existiendo pocas evidencias físicas de partículas de carbón vegetal depositadas en sedimentos. Las mediciones de estas partículas de carbón vegetal en los núcleos de los sedimentos datados mostraron que existe una cierta correlación entre la cantidad de biomasa quemada y las actividades humanas. Es el caso de sedimentos encontrados en Australia, donde el incremento de carbón vegetal coincide con la ocupación humana (Griffin y Goldberg, 1979 y 1983).

La ocurrencia del fuego en la vegetación de Sabana ha sido atribuida, principalmente, a causas antrópicas. Esto se debe a la falta de datos científicos para explicar las causas naturales del fuego, como las descargas eléctricas (rayos) y el vulcanismo (Coutinho, 1990a, Coutinho, 1990b). Sin embargo, como este último se encuentra restringido a ciertas áreas del planeta, los rayos son los principales iniciadores naturales del fuego, existiendo registros indirectos en carbón fósil que indican la presencia del fuego en edades anteriores a la existencia del hombre primitivo (Komarek, 1972). Asimismo, depósitos de carbón vegetal encontrados en los suelos de la Amazonía demuestran la

ocurrencia de incendios de grandes proporciones en aquella región, durante los períodos de seca, en tiempos prehistóricos (Sanford et al., 1985).

En 1996-97 se obtuvieron los primeros registros, *in situ*, de incendios naturales provocados por rayos en las Sabanas brasileiras (Ramos-Neto, 1997). Sin embargo, y a pesar de las evidencias, existe cierto recelo en aceptar la ocurrencia de incendios naturales en la vegetación de Sabanas, debido a las dificultades que existen para comprobar este evento natural (IBDF, 1978).

Estudios antropológicos recientes han demostrado que el continente americano fue habitada por el hombre primitivo hace más de 32.000 años, quien ya hacía uso del fuego (Guidón y Delibrias, 1986). Berger y Libby (1983), citado por Coutinho (1990a), dataron con C¹⁴ fragmentos de carbón vegetal cubiertos por suelos del bioma de Sabana en las proximidades de Brasilia, estimando la edad en unos 1.600 años, indicando la presencia del fuego en la región central del Brasil mucho antes de la llegada de los portugueses. Coutinho (1981) reportó fragmentos similares datados en 8.600 años en suelos de campo cerrado (sabanas con árboles altos en pequeños grupos) cerca de Pirassununga (Sao Paulo), mostrando, con ello, que un número significativo de especies de flora de las Sabanas son tolerantes y dependientes del fuego; evidenciando, de esta manera, que el fuego tiene un factor ecológico antiguo y muy importante para este ecosistema.

Del mismo modo, Leal *et al.* (2018) argumentan que el fuego es un factor perturbador en la ecología de las plantas, necesario para el mantenimiento y persistencia de muchos ecosistemas, como las sabanas tropicales. La frecuencia en la ocurrencia e intensidad del fuego varía según factores ambientales y antrópicos, constituyendo así los diferentes regímenes de fuego. De esta forma, los autores afirman que existe una estrecha correlación entre la ocurrencia y distribución de la vegetación de Sabana y los regímenes de fuego que determinan la distribución de la vegetación, los patrones de biodiversidad y de producción de biomasa, así como el riesgo de ocurrencia de incendios forestales.

En el tiempo de la colonización de Venezuela, el fuego era utilizado por los indígenas en prácticas comunes como recolección, caza y pesca. Actualmente, en el Parque Nacional

Canaima la dinámica del fuego en los ecosistemas de Sabana representa un papel determinante debido, esencialmente, a la práctica de actividades tradicionales de subsistencia del pueblo Pemón, incluyendo la agricultura de conucos, el manejo ambiental, actividades domésticas y artesanales, entre otras (Cuadro 2.1). Aun cuando el uso del fuego es considerado de suma importancia en las prácticas de subsistencia de los Pemón, la mayor controversia se centra en la práctica Pemón de quema de Sabana, pues se aprecia que dicha práctica amenaza los parches de bosque de la Gran Sabana.

CUADRO 2.1. Usos del fuego por el pueblo Pemón

Agrícola	)] Preparación del conuco)] Limpieza del conuco luego de la cosecha de los rubros alimenticios)] Pastoreo: Ayuda a producir rebrotes en la sabana para el Ganado y animales silvestres como el venado.
Cacería, recolección y pesca	• Acorralamiento de animales • Reproducción de insectos comestibles)] Pesca: el humo asemeja un atardecer y facilita la pesca
Manejo ambiental	• Limpieza de caminos • Ahuyentar plagas y animales peligrosos • Renovación de pastizales)] Protección ambiental (prevención de incendios): Previene que el fuego entre en los bosques (quema por parches en la sabana y quemadas preventivas en bordes de los bosques); controlando incendios con fuego.
Domésticos y artesanales	• Preparación de alimentos • Eliminación de desechos)] Limpieza alrededor de las casas • Iluminación • Elaboración de ollas de barro)] Mantener el calor corporal • Para calmar a niños intranquilos o malcriados • Salud • Preparación de velas
Mágico religiosos	• En celebraciones o rituales lo utilizaban en la (iniciación de los jóvenes) • Alejar espíritus malignos • Celebración de agradecimiento en torno al fuego, ya sea por buena cacería, pesca y agricultura
Comunicación	• Avisos de cacería o pesca exitosa • Aviso de llegada a un lugar • Aviso de partida de un lugar • Solicitud de ayuda
Otros	)] Resistencia a las políticas de control del fuego

Fuente: Rodríguez (2007), Rodríguez *et al.* (2013) y Millán *et al.* (2013).

Según Ablan *et al.* (2007), cerca del 70% de los incendios y quemadas detectados en la cuenca del río Caroní tienen lugar en las áreas de Sabana y, ocasionalmente, algunos cruzan el límite Sabana-bosques. Otro factor importante en la dinámica del bioma Sabana es su susceptibilidad al fuego recurrente. Éste tiende a originarse en las formaciones herbáceas consumiendo la parte de la biomasa aérea y puede llegar a afectar en mayor o menor medida las formaciones boscosas aledañas (Sarmiento, 1983).

Asimismo, cabe destacar que el ecosistema de Sabana presenta claras adaptaciones al fuego recurrente, como la protección de las yemas de las hierbas, las características de las cortezas de muchos árboles y arbustos, y los cinturones de vegetación pirófila (resistente al fuego) que conforman los ecotonos de la interfase sabana-bosque (Sarmiento, 1984 y Vincelli, 1981).

2.2.2.4 Terminología del fuego

Para fines de este trabajo, se aplican las siguientes definiciones sobre ecología del fuego en la vegetación de Sabana: (a) **quema**, hace mención a la ocurrencia del fuego con fines o prácticas de manejo y/o subsistencia de manera controlada; (b) **quemada**, se refiere al proceso de combustión de fitomasa y/o subproductos de esta combustión; (c) **área quemada**, se refiere a la extensión de la superficie afectada por quemas identificables en imágenes satelitales; (d) **cicatriz del fuego**, se refiere al comportamiento espectral de las áreas quemadas después de que el fuego haya consumido, total o parcialmente, el material combustible; (e) **fuego**, en la naturaleza, es un proceso de combustión de biomasa en presencia de oxígeno y una fuente de ignición, con la consecuente emisión de carbono a la atmósfera, liberación de calor y agua; (f) **manejo del fuego**, basado en enfoques participativos y en la quema prescrita o controlada; (g) **fuego activo**, es un término utilizado para designar el fuego ardiendo en el momento del paso del satélite; (h) **focos de calor**, se refiere a aquellas superficies terrestres con altas temperaturas, capaces de sensibilizar el sensor térmico a bordo de los satélites en el momento de su paso. Los Focos de Calor son indicadores de la ocurrencia de incendios forestales o quemas; (i) **incendios forestales**, se refiere al fuego sin control de origen antrópico, principalmente, y

muy raramente a causas de origen natural, que usualmente alcanza grandes superficies de material combustible. Cabe destacar que en Venezuela no existen registros oficiales de incendios forestales por causas naturales, como los que se inician por el impacto de rayos; y **quema prescrita**, se refiere al uso controlado del fuego para reducir la vegetación bajo condiciones meteorológicas y del material combustible específicas que permiten fijar la intensidad del fuego y la cantidad de biomasa a eliminar, según objetivos previamente definidos. Además, cuenta con una evaluación y seguimiento de los resultados en el marco de un programa de quemas.

2.2.2.5 Recurrencia de quemadas y permanencia de cicatrices del fuego en las sabanas

La definición adoptada en este trabajo para el término "recurrencia de quemadas", utilizado en estudios de los patrones de recurrencia del fuego, sigue la definición propuesta por Heinselman (1981) y se refiere, específicamente, a los intervalos de retorno del fuego a una misma área. Similarmente, el término "permanencia de cicatrices del fuego" se refiere al tiempo transcurrido entre la presencia de la cicatriz dejada por el fuego y la ausencia de la misma (en una imagen satelital), resultante del proceso de rebrote o recuperación de la vegetación.

Varios aspectos relacionados a la ecología del fuego en la vegetación de Sabanas han sido investigados; sin embargo, los estudios científicos sobre recurrencia de quemadas y permanencia de cicatrices de fuego en este bioma son bastante escasos. Según Schüle (1990), la recurrencia del fuego depende de la distribución del material combustible, su frecuencia de combustión y contenido de humedad. El autor destaca, además, que en las áreas caracterizadas por precipitaciones estacionales, donde se produce una acumulación de fitomasa durante el período húmedo, la recurrencia de quemadas tiende a aumentar cuando el período seco es suficientemente largo.

Adámoli *et al.* (1983), analizaron la curva de extinción de la respuesta espectral presentada por cicatrices de fuego en pastos nativos del Cerrado brasileiro, realizando mediciones en las superficies quemadas con un espectro-radiómetro. Estos autores

verificaron que las áreas recientemente quemadas presentaban niveles digitales cercanos a los presentados por el agua de los lagos, resaltando que la diferencia entre sus respuestas espectrales (áreas quemadas versus cuerpos de agua) sólo pudo ser verificada en cicatrices de fuego con permanencia entre 30 y 60 días.

Krug *et al.* (2004), Rivera-Lombardi (2003) y Rivera-Lombardi *et al.* (2004), en estudios realizados en áreas seleccionadas de las Sabanas brasileras, utilizando imágenes Landsat-5/TM (1996-2000), observaron que el tipo más común de recurrencia interanual de quemadas fue caracterizado por la ocurrencia de apenas 2 eventos consecutivos, independiente del año de ocurrencia (77% en el sector Chapada dos Veadeiros y 62% en el sector Araguaia). En relación al área total afectada por los diferentes tipos de recurrencias, observaron que aquellas caracterizadas por apenas dos quemadas, espaciadas por períodos de dos años sin ocurrencias de quemadas, predominaron en los dos sectores del área de estudio (52% en el sector Chapada dos Veadeiros y 37% en el sector Araguaia). El análisis de las cicatrices del fuego en las imágenes TM-Landsat indicó una variación anual significativa en la permanencia de las mismas, para cada año y por tipo de fisonomía. Sin embargo, se observó consistencia en ambas áreas de estudio, relativo a las permanencias más cortas y más largas, las cuales fueron respectivamente asociadas a las fisonomías de campo (campo limpio o sucio) y campo cerrado.

2.2.3.6 Discriminación de áreas quemadas utilizando datos orbitales

La percepción remota incluye un conjunto de técnicas para la recolección, procesamiento y análisis de datos de la superficie terrestre, a partir de información proveniente de la interacción de la radiación electromagnética con los objetos terrestres, contribuyendo en etapas como: identificación, descripción o caracterización de patrones espaciales, evaluación de la disponibilidad, calidad y cantidad de los recursos localizados y el seguimiento de las alteraciones y condiciones de esos recursos, provocadas por su uso y manejo, o por accidentes naturales o culturales (Carvalho *et al.* (1990).

Esta información se puede extraer mediante métodos de análisis de datos de percepción remota, que se subdividen en dos grandes conjuntos: análisis digital y análisis visual de imágenes. El método de análisis digital de imágenes abarca una serie de técnicas de

manipulación numérica de datos, como el procesamiento de imágenes digitales, por ejemplo. Este método incluye el pre-procesamiento, las técnicas de realce y las técnicas de clasificación de imágenes. En la clasificación digital de imágenes, se busca el reconocimiento automático de los objetos presentes en la escena a partir del análisis cuantitativo de los valores de los niveles de digitales (Novo, 1992). El análisis visual, por su parte, depende de la experiencia del intérprete, utilizando claves de identificación como tono, textura, tamaño, ubicación, forma y contexto espacial, entre otros, para realizar clasificaciones de imágenes (Chuvieco, 1996).

Aun cuando la clasificación digital proporcione mayor rapidez y consistencia en la discriminación de las distintas coberturas terrestres, tales ventajas no son absolutas, y dependen principalmente de factores como: (a) el sistema sensor (resoluciones espacial, espectral y radiométrica, así como el ángulo de incidencia del sistema sensor); (b) la geometría de iluminación (sombra del relieve); (c) el ángulo de elevación solar (directamente relacionado con la proporción de sombras que el sensor detecta); (d) las condiciones ambientales (nubes con sus respectivas sombras y la estacionalidad; cambios en la cobertura terrestre, sequías e inundaciones), que pueden influir en el grado de discriminación de los objetos terrestres que presentan características espectrales similares o muy cercanas (Chuvieco, 1996).

En el caso de la identificación de áreas quemadas utilizando datos adquiridos en la región del visible y del infrarrojo cercano y medio, el resultado de la clasificación digital puede presentar baja exactitud. Esto se deriva de la dificultad de discriminar inequívocamente las áreas quemadas de otros elementos presentes en la superficie terrestre que presentan características espectrales similares, pero son de naturaleza bastante distinta, como cuerpos de agua, sombras de nubes o de relieves. En estos casos, se requiere de la ayuda de la interpretación visual (Chuvieco, 1996).

2.2.3.6.1 Propiedades espectrales de las áreas quemadas

La caracterización espectral de las áreas afectadas por el fuego se considera como el punto de partida en las investigaciones acerca de la detección satelital de áreas quemadas

y depende, principalmente, de dos factores: la severidad del fuego y del tiempo transcurrido después de la quema (Fuller y Rouse, 1979; Tanaka *et al.*, 1983). Después de la ocurrencia de una quema se pueden observar variaciones en la reflectividad de estas áreas, las cuales son más intensas cuanto más severo haya sido el fuego. Estas variaciones de las proporciones de vegetación contenidas en un *pixel* son producto de la modificación de la estructura y de la cantidad de vegetación que ha sido afectada por el fuego (Tanaka *et al.*, 1983; Frederiksen *et al.*, 1990; Robinson, 1991).

Según Pereira *et al.* (1997), es importante conocer el intervalo de tiempo entre la ocurrencia de un incendio y la fecha de adquisición de los datos espectrales, debido a las alteraciones que se producirán en la reflectividad de estas áreas, ocasionadas por la recuperación de la vegetación afectada por el fuego. Estos autores sugieren que para identificar adecuadamente las áreas afectadas es necesario no sólo conocer la respuesta espectral de las áreas quemadas, sino también la respuesta espectral de los tipos de vegetación existente en el área antes de la acción del fuego.

2.2.2 Estimaciones de emisiones atmosféricas utilizando datos orbitales

Las estimaciones de emisiones globales resultantes de la quema de biomasa han sido realizadas a partir de mediciones directas o indirectas de parámetros biofísicos relacionados con los procesos y factores del fuego que alteran la estructura y composición de comunidades vegetales. Estas alteraciones dependen, principalmente, de factores como: la extensión del área quemada, la frecuencia, la intensidad y la sensibilidad de la vegetación al fuego (Sousa, 1984). La comprensión de estos procesos y factores ha sido documentada en la literatura a través del conocimiento sobre la ecología del fuego, las mediciones y el modelado de las características del fuego, los procesos de combustión, la emisión y el transporte de especies químicas derivadas de las quemadas.

Las estimaciones de emisiones atmosféricas se pueden realizar de forma directa mediante la medición de la concentración de los componentes del humo emitidos durante las quemas, a partir de mediciones en campo o con datos obtenidos con sensores orbitales o aerotransportados. Sin embargo, las mediciones en las que se adopta este procedimiento deben realizarse simultáneamente durante la ocurrencia de las quemas, resultando en

una tarea ardua debido a las dificultades operativas en sincronizar las campañas de medición con la actividad del fuego.

Las emisiones atmosféricas producidas durante la ocurrencia de quemas están directamente relacionadas con la cantidad de biomasa consumida en un determinado ecosistema. La biomasa total quemada y la cantidad correspondiente de gases emitidos pueden ser estimadas de forma indirecta a partir de parámetros biofísicos como: el área quemada, la densidad de la biomasa, la eficiencia de combustión y factores o cocientes de emisión para las especies químicas relacionadas (Levine , 1999).

2.2.2.1 Estimaciones de emisiones atmosféricas a partir de la concentración de los componentes del humo

2.2.2.1.2 Mediciones en campo y laboratorio

Las mediciones directas realizadas a escala local que relacionan las características de la biomasa, las tasas de emisión y el tipo de combustión se realizan en campo (quemas prescritas o naturales) o en laboratorio, con el fin de extraer parámetros de emisión que puedan utilizarse posteriormente en las estimaciones de emisiones, principalmente donde no existen datos disponibles (Palacios-Orueta *et al.*, 2005).

Los experimentos realizados a escala regional y global, a partir de mediciones simultáneas en estaciones terrestres y con sensores aerotransportados, han sido desarrollados en regiones con alta incidencia de quemas e incendios forestales (Amazonía, sabanas brasileras, sabanas africanas, entre otras), obteniéndose datos importantes sobre la evolución del fuego, la quema de biomasa, las características del material combustible y las tasas de emisión (Kaufman *et al.*, 1992; Ward *et al.*, 1992; Andreae *et al.*, 1998). Este tipo de estudio ha demostrado que existe una fuerte relación entre la complejidad de la vegetación, las condiciones ambientales y las emisiones cuando se pretende desarrollar modelos para obtener estimaciones de emisiones a escala regional y global.

2.2.2.2. Mediciones con datos de percepción remota

Los datos de percepción remota se utilizan para medir la concentración de partículas en las plumas de humo emitidas durante las quemas debido a su alta correlación con las

emisiones de gases traza (Ward, 1986; Kaufman *et al.*, 1990a). Las estimaciones de concentración de partículas de humo se realizan calculando el espesor óptico del humo y se basan en las diferentes propiedades de absorción y dispersión de la radiación solar que presentan varios de sus componentes en la región óptica del espectro electromagnético (0,4 - 1,3 μm) (Palacios-Orueta *et al.*, 2005), utilizando los siguientes métodos:

a) Diferencia de reflectancias

Según el origen (combustión o nieblas) y las características (tamaño), las partículas atmosféricas presentan distintos tipos de dispersión y de absorción en diferentes longitudes de onda como, por ejemplo, en la región del azul (0,4 - 0,5 μm) y del rojo (0,6 - 0,7 μm) (Chuvieco, 1996). De esta forma, la concentración de partículas atmosféricas se mide a través de los contrastes observados entre las reflectancias en estas regiones del espectro electromagnético (Kaufman *et al.*, 1992).

La nueva generación de sensores como el VEGETATION/SPOT (bandas en la región del azul, verde, infrarrojo cercano -IRC- y el infrarrojo medio -IRM-) y el MODIS/TERRA-AQUA (con múltiples bandas en la región óptica) son adecuados para este tipo de aplicación (King *et al.*, 1999). También es posible estimar el espesor óptico del humo y medir la absorción de las partículas atmosféricas a partir de datos del sensor AVHRR (bandas del rojo y del IRC). Kaufman *et al.* (1990a) estimaron la tasa de emisión de gases traza a partir de la tasa de emisión de partículas obtenidas con datos del AVHRR y coeficientes de emisión obtenidos en incendios forestales en los Estados Unidos.

b) Observaciones utilizando diferentes ángulos de visión del sensor

Este método permite estimar el espesor óptico atmosférico a partir de las diferentes reflectancias observadas sobre una misma cobertura terrestre, en diferentes ángulos de visión. Las aplicaciones de este método se han realizado con datos del sensor MISR (*Multi-Angle Imaging Spectroradiometer*) a bordo de la plataforma TERRA, así como del sensor POLDER (*Polarization and Directionality of the Earth Reflectances*) sobre la plataforma ADEOS (King *et al.*, 1999).

c) Mediciones directas con sensores provistos de bandas de absorción de gases

Mediciones directas de la concentración de gases han sido realizadas con el sensor MOPITT/TERRA (*Measurements of Pollution in the Troposphere*). Este sensor, diseñado para medir la concentración de CO y CH₄ en la atmósfera, ha medido el incremento de CO resultante de la quema de biomasa en varias regiones del mundo, examinando de forma directa las variaciones espacio-temporales en las emisiones de estos gases e independientemente de otros parámetros o modelos.

Lamarque *et al.* (2003) utilizaron datos de este sensor para identificar plumas de CO resultantes de la quema de biomasa en incendios de grandes extensiones al noroeste de los Estados Unidos, así como las emisiones y la transferencia de este gas al este de ese país. Liu *et al.* (2005) correlacionaron mediciones obtenidas en campo y en laboratorio (dirección del viento, cantidad de área quemada, densidad de biomasa, factores de emisión), con las emisiones de CO obtenidas con el sensor MOPITT y focos de incendios detectados con el sensor AVHRR. Los resultados indicaron la potencialidad de este sensor para detectar plumas de CO resultantes de incendios en bosques de grandes extensiones y las respectivas variaciones temporales de este gas, utilizando composiciones de imágenes de tres días. El modelo de distribución espacial de CO obtenido por este sensor durante las quemas fue consistente con la ubicación y la densidad de los focos de incendios detectados por el AVHRR y la dirección del viento medida en campo.

Cabe destacar algunas restricciones señaladas por estos autores, como la baja resolución del sensor MOPITT (22 km x 22 km en el nadir) que limitó la detección de plumas de CO únicamente a incendios de grandes extensiones y en áreas sin cobertura de nubes, ya que las emisiones de CO producto de pequeños incendios y bajas densidades de biomasa no se detectan por el sensor; así como la imposibilidad en obtener datos en días nublados. Otra limitante importante se refiere a la baja sensibilidad presentada por el sensor en las capas limítrofes, señalada como posible causa en el incremento de las estimaciones de emisiones obtenidas (en un incendio de unos 2.500.000 km², el sensor estimó la emisión de CO en cerca de 4 Mt en comparación con 1-3 Mt medidas en el campo).

Otros experimentos utilizando sensores aerotransportados y datos orbitales han sido utilizados para estimar la concentración de gases traza en la atmósfera. Kaufman *et al.*

(1992) asociaron partículas de humo, emitidas a partir de quemas en pastos y bosques convertidos para otros usos en la Amazonia brasilera, en mediciones simultáneas con las emisiones de gases traza realizadas en campo. Los resultados mostraron que los coeficientes entre las partículas de humo emitidas y gases-traza como CO y CH₄ permanecieron casi constantes, a diferencia de las variaciones observadas en los coeficientes entre estos gases y el CO₂.

Sin embargo, cabe señalar que en este experimento se utilizaron mediciones de sólo dos incendios para estimar los coeficientes entre las partículas y los gases traza CO y CH₄, y de tres incendios para los coeficientes entre los gases traza emitidos. Por lo tanto, los resultados obtenidos no pueden considerarse concluyentes. Por otro lado, cabe destacar las dificultades en la aplicación de las técnicas de medición e instrumentos requeridos en este tipo de experimento, así como la necesidad de medir simultáneamente datos de campo, aerotransportados y orbitales y los procedimientos para caracterizar las condiciones de observación de la pluma de humo, realizadas mediante la recolección de datos multitemporales en diferentes niveles altitudinales y para diferentes tipos de combustión (con y sin llama).

2.2.2.3 Estimaciones de Emisiones Atmosféricas a Partir de la Cuantificación de la Biomasa Quemada

Las estimaciones de emisiones atmosféricas resultantes de la quema de biomasa se basan en la integración de parámetros que relacionan la cantidad de biomasa quemada y los flujos de emisiones, con factores de emisión que dependen del tipo de combustible y de la fisonomía vegetal afectada por el fuego, así como de la eficiencia de la combustión (Seiler y Crutzen, 1980; Robinson, 1989). El tipo y la cantidad de gases traza emitidos durante las quemas está relacionado con la composición física y química de los ecosistemas afectados y con factores ambientales como la precipitación, la humedad, la temperatura, la topografía y la velocidad del viento (Ward *et al.*, 1992).

2.2.2.3.1 Biomasa total quemada

La cantidad total de biomasa (material combustible) consumida por el fuego (M) es comúnmente determinada de forma indirecta, para una región y un ecosistema

determinado, a través del modelo propuesto por Crutzen *et al.* (1979) y Seiler y Crutzen (1980) (ecuación 1):

$$M = X A \cdot B \cdot E \quad (\text{peso de la materia seca}) \quad (1)$$

Siendo, A el área total quemada (superficie); B la densidad de la biomasa (peso/superficie); y E la eficiencia de la quema (adimensional).

Esta ecuación integra una serie de parámetros biofísicos que pueden ser estimados utilizando diversos procedimientos en varios niveles de generalización, siendo posible su aplicación en escalas espacio-temporales variadas. En algunos casos, la información necesaria para generar estos parámetros está bien definida. Sin embargo, en otros casos, la información se basa en series de datos u observaciones muy limitadas (Seiler y Crutzen, 1980; Kasischke y Bruhwiler, 2003; Palacios-Orueta *et al.*, 2005).

A seguir, se discuten algunos métodos para estimar los parámetros en la ecuación (1) que involucran diferentes ecosistemas, así como el origen de las incertidumbres en las mediciones y modelación, centrándose en el potencial de los datos de percepción remota para obtener dicha información.

a) Área total quemada (A)

Cuantificación del área total quemada con datos orbitales

La identificación y cuantificación de áreas quemadas a partir de datos orbitales pueden ser abordadas bajo dos puntos de vista distintos. El primero, se refiere a la observación de las quemaduras o incendios en el momento en que éstas están ocurriendo, cuando aún están activas, utilizando la información adquirida en las regiones del infrarrojo térmico (IRT) (0,7 - 1,3 μm) o IRM del espectro electromagnético. Las plataformas orbitales utilizadas en este tipo de observación presentan alta frecuencia de revisita (resolución temporal) asociadas a una baja o moderada resolución espacial. El segundo caso, se refiere a la observación de las áreas después de la ocurrencia del fuego, mediante la discriminación de la cicatriz del fuego dejada en el terreno, utilizando datos adquiridos en las regiones del visible y del IRC. Normalmente, los sistemas sensores utilizados en este tipo de detección son de mediana y alta resolución espacial.

Las estimaciones de áreas quemadas derivadas del número de focos de calor (indicadores de posibles fuegos activos) han sido comúnmente detectadas con las bandas térmicas 3 (3,55-3,93 μm) y 4 (10,5-11,5 μm) del sensor AVHRR, con resolución espacial de 1 km x 1 km (en el nadir). Sin embargo, el uso de estos datos presenta ciertas limitaciones para monitorear fuegos activos o detectar áreas quemadas, ya que el sensor AVHRR fue diseñado para realizar observaciones meteorológicas, provocando incertidumbres en las estimaciones del área quemada y, consecuentemente, en el cálculo de las emisiones globales de gases traza resultantes de la quema de biomasa (Kaufman *et al.*, 1990b).

Recientemente, datos del sensor MODIS han sido utilizados en las estimaciones de áreas quemadas, tanto en la detección de incendios activos como en la discriminación de las cicatrices del fuego. Este sensor permite la generación de imágenes con resolución espacial de 250 a 1.000 m (en la región del visible e IRC y en la región del IRM y IRT, respectivamente) y tiene una frecuencia de revisita entre 1 y 2 días en el Ecuador. Los valores de radiancia detectados por el sensor son cuantificados en clases dinámicas de 12 bits, lo que implica en 4.096 niveles digitales (Justice *et al.*, 2002).

En comparación con el AVHRR/NOAA, los datos obtenidos a partir del sensor MODIS deben ser más precisos y adecuados para el monitoreo global y regular de superficies quemadas, ya que presenta una mejora significativa en la geometría de adquisición de sus datos y bandas espectrales diseñadas para la identificación de fuegos activos con valores de radiancia de saturación más altos (Roy *et al.* (2002).

Tradicionalmente, el uso de sensores de baja resolución espacial ha demostrado ser útil para monitorear los patrones espacio-temporales diarios de la actividad del fuego. Aunque el monitoreo del fuego activo utilizando la región del IRT está bastante avanzado, la capacidad de los sensores de baja resolución para mapear, con precisión y tiempo hábil, las cicatrices del fuego, todavía está siendo demostrada (Arino *et al.*, 2000, Rivera-Lombardi *et al.*, 2004b).

Por otro lado, la baja resolución espacial de estos sensores, de 1,1 km en el nadir y de 2,4 km fuera del nadir, a lo largo del sentido de la órbita del satélite, y de 6,9 km a lo largo del

sentido de la exploración o barrido del satélite sensor, en el caso del AVHRR; y de 1 km en el nadir y de hasta 4 km fuera del nadir, para el MODIS, puede ocasionar estimaciones erróneas, subestimando el número de focos de calor al omitir quemadas menores que la resolución espacial del sensor y, consecuentemente, subestimando el área quemada (Setzer *et al.*, 1994).

En cuanto a los datos obtenidos con el sensor MODIS, cabe destacar las distorsiones causadas en las imágenes de Nivel 1B (corrección geométrica y radiométrica), en comparación con las imágenes de Nivel 0 (sin ningún tipo de correcciones), como resultado de la corrección del efecto "*bowtie*". Este efecto, producto de la oscilación del espejo en el sistema de barrido del satélite, que conduce a una superposición de píxeles, durante la generación de la imagen, para ángulos de barrido por encima de 25 grados, provoca distorsiones en la radiometría y la geometría de los nuevos píxeles remapeados en las imágenes de Nivel 1B. Por lo tanto, estos nuevos píxeles pueden no necesariamente representar el mismo valor y posición de los píxeles originales.

Los sensores de mediana resolución espacial, como el Landsat (TM, TM+, OLI) y el SPOT (4 y 5), a menudo se utilizan para estimar áreas quemadas a través de la discriminación de la cicatriz del fuego, en regiones relativamente pequeñas y para estudios de caso. La discriminación de las cicatrices del fuego es comúnmente realizada con la información obtenida en la región del IRC, ya que los cambios inducidos por el fuego en las propiedades espectrales de la vegetación son más evidentes en esta región que en la región del visible, principalmente cuando las condiciones anteriores al fuego presentan alto contenido de material combustible; y también debido a que los procesos de combustión producen grandes cantidades de residuos de carbón vegetal (Pereira *et al.* 1997).

La resolución espacial de estos sensores (30, 20 y 10 m, respectivamente para el Landsat y el SPOT 4 y 5) los convierte en instrumentos ideales para determinar el patrón espacial y cuantificar con precisión adecuada las áreas quemadas (Eva y Lambin, 1998). Sin embargo, cuando hay necesidad de información para áreas extensas, estos sensores se vuelven inadecuados, tanto en lo que se refiere a la resolución temporal en cuanto al campo de

visión. La resolución temporal (16 y 26 días, respectivamente para el Landsat y el SPOT), junto con la presencia de nubes, dificulta la observación continua de la actividad del fuego. Por otro lado, el reducido campo de visión de esas imágenes impone la adquisición de un gran número de imágenes para análisis regional o global.

Algoritmos para identificación y cuantificación de áreas quemadas

En vista de la necesidad de mapear áreas quemadas a nivel global, utilizando un gran número de datos orbitales, diferentes técnicas han sido desarrolladas para automatizar este procedimiento. La cuantificación de áreas quemadas puede ser realizada a través de algoritmos para mapeo automático tanto de los fuegos activos como de las cicatrices del fuego o combinando ambos enfoques. El mapeo automático puede ser realizado mediante la observación directa del valor de radiancia captada por el sensor o de manera indirecta, utilizando productos derivados de la combinación de la información entre diferentes regiones del espectro electromagnético, como por ejemplo, los índices de vegetación (Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada - IVDN, *Soil-Adjusted Vegetation Indices* - SAVI), el Índice de Monitoreo Ambiental Global (GEMI); entre otros, y la temperatura de la superficie.

França (2001), desarrolló un algoritmo de identificación y cuantificación de áreas quemadas a partir de mosaicos quincenales de las imágenes del sensor AVHRR, en la región continua del cerrado brasileiro. La identificación de las áreas quemadas utilizando el algoritmo se basó en umbrales de detección para las bandas 1 (0,6 μm), 2 (0,9 μm) 3 (3,7 μm) y para el IVDN a fin de diferenciar los fuegos activos de otros objetos terrestres con características espectrales similares (reflejos en suelos agrícolas y cuerpos de agua). Los resultados obtenidos fueron calibrados con datos del sensor TM/Landsat, apuntando a un error inferior al 15% en la cuantificación anual de quemadas.

Conard *et al.* (2002) estimaron áreas quemadas en varias regiones de Rusia durante el período de quema del año 1998, utilizando datos del sensor AVHRR. El método para el mapeo de áreas quemadas fue basado en la detección de fuegos activos (bandas 3 y 4) y en la discriminación de las cicatrices del fuego (bandas 2 y 3). El algoritmo combinó la

información de diferentes regiones del espectro valiéndose de los siguientes criterios: a) la localización y el tamaño de los fuegos activos fueron utilizados para identificar cicatrices del fuego en imágenes obtenidas después de la ocurrencia de la quema; b) cambios en la cobertura vegetal fueron mapeados como quemadas solamente si los fuegos activos también se detectaron; c) pequeñas áreas de fuego activo fueron mapeadas como quemadas únicamente si las correspondientes cicatrices del fuego fuesen discriminadas en imágenes obtenidas después de la ocurrencia de la quema; y d) áreas extensas de incendios activos fueron mapeadas como quemadas cuando los respectivos *píxeles* presentaban altas temperaturas durante 7 días consecutivos, aunque no fuera posible la discriminación de las cicatrices del fuego durante el mismo período.

Aunque el uso de datos del sensor AVHRR es ampliamente utilizado para estimar el área quemada, es importante destacar las siguientes limitaciones de este sensor: a) detecta solamente las quemas activas en el momento del paso del satélite, pudiendo no detectar quemas ocurridas en horarios diferentes al paso de satélite; b) los frentes de fuego menores de 50 m o bajo el dosel no son detectados; c) la radiación solar reflejada por cuerpos de agua o suelos expuestos, para ángulos específicos de reflexión, pueden presentar la misma respuesta espectral a la de fuegos activos; y d) aunque las bandas 3 y 4 pueden ser utilizadas para identificar la temperatura de los focos de calor, los fogones activos que cubren sólo una parte del *píxel* (0,01 - 0.1%) son suficientes para saturar la banda 3 de este sensor, sobreestimando las áreas quemadas (NOAA, 1985; Kaufman *et al.*, 1990b; Robinson, 1991; Kidwell, 1991; Setzer, 1993).

Algoritmos que involucran el uso de datos del sensor MODIS se han utilizado recientemente para cuantificar áreas quemadas. Entre los más difundidos cabe destacar el producto MOD14, desarrollado por el equipo científico del *MODIS fire products*. Este algoritmo identifica la ocurrencia de anomalías termales, estima la energía total emitida durante las quemas y calcula el coeficiente entre las fases de combustión con y sin llama. El algoritmo utiliza un árbol de decisión basado en la emisión de energía de los focos de calor en las longitudes de onda de 4µm y 11µm, generando estimaciones con varios niveles de confianza, según los ángulos de incidencia de la fuente y de observación del

sensor. No obstante, Kaufman y Justice (2007) advierten de algunas limitaciones de este algoritmo como: a) diferentes tipos de combustión que cubren un mismo *píxel* dificultan la caracterización del tipo de fuego (eficiencia de la combustión); y b) quemadas de pequeño porte o con valores bajos de temperatura (procedentes de quemas con poco material combustible) son de difícil detección.

Roy *et al.* (2002) utilizaron datos de reflectancia de la superficie obtenidos con el sensor MODIS referentes a una serie temporal de 56 días de la región sur del continente africano, durante el período de quema del año 2000, buscando discriminar áreas quemadas de áreas no quemadas. Las estimaciones se realizaron utilizando un modelo bidireccional de reflectancia invertida bajo la premisa de que gran parte de las variaciones en la reflectancia observada se debe a las variaciones del ángulo de visión y de iluminación del sensor a lo largo del campo de visión (110°) y entre órbitas consecutivas, durante cada ciclo de 16 días. Esta variación angular puede ser modelada invirtiendo el modelo bidireccional de reflectancia en oposición a datos multi-temporales de reflectancia de la superficie. Asumiendo que las condiciones de la superficie terrestre no cambiaron, los parámetros del modelo invertido pueden ser utilizados para predecir observaciones en ángulos de visión e iluminación diferentes. De esta forma, cualquier divergencia entre los valores predichos y los medidos se atribuye a los cambios en la cobertura terrestre o a objetos en las imágenes no terrestres (nubes y sombras). Los resultados mostraron alta correspondencia cuando se compararon cualitativamente con los productos *MODIS active fire detection*, así como la coherencia espacio-temporal con la distribución de las quemadas. Sin embargo, la validación de estos resultados se encuentra en marcha y trabajos futuros correlacionados deben considerar cuestiones como: a) la operatividad del algoritmo utilizando múltiples bandas; b) cómo diferenciar cambios causados por quemadas de aquellos ocasionados por otro tipo de cambios rápidos; y c) cómo sería el comportamiento del algoritmo en regiones con diferentes regímenes de quema.

Aunque no existe en la actualidad consenso en la adopción de un algoritmo único, ni una definición de las bandas espectrales más adecuadas para el mapeo preciso de áreas quemadas, una posible tendencia sería el desarrollo de algoritmos que consideraran las

variaciones espacio-temporales de la cobertura terrestre combinando la información espectral de las bandas reflectivas y emisivas del espectro (detección de fuegos activos y discriminación de cicatrices del fuego); así como el desarrollo de algoritmos y técnicas de fusión de datos orbitales multi-sensores, principalmente, con instrumentos similares a bordo de plataformas distintas (p. ej. MODIS y AVHRR).

Por otro lado, cualquier intento de perfeccionar las técnicas y los procedimientos relativos a la cuantificación de áreas quemadas, debe considerar factores condicionantes como la confusión de las áreas quemadas con otros objetos en la imagen espectralmente similares; la dificultad de mapear áreas quemadas pequeñas con dimensión menor a la resolución espacial de los sensores (en el nadir); y la resolución temporal adecuada a los requerimientos de cada región de estudio, a fin de obtener estimaciones más precisas de emisiones atmosféricas que las disponibles actualmente.

b) Densidad de la biomasa (*B*)

Las estimaciones de la densidad de la biomasa (combustible de la biomasa) es una tarea compleja debido a la heterogeneidad de la vegetación y a los cambios en el uso y cobertura terrestre, lo que hace difícil obtener valores actualizados, principalmente, para cuantificar biomasa viva o muerta (Palacios-Orueta *et al.*, 2005). Las estimaciones de este parámetro presentadas en la literatura han sido realizadas a partir de mediciones en campo, de modelos ecológicos o con datos de percepción remota (Box *et al.*, 1989).

La densidad de la biomasa se define como el total de la vegetación viva o muerta por encima del suelo, susceptible de ser consumida por el fuego (ignición y combustión) (Ward *et al.*, 1996). El combustible propiamente dicho se refiere a las características de la biomasa viva y muerta (p. ej. masa y densidad) que contribuye con la propagación y severidad del fuego (Burgan y Rothermel, 1984). Normalmente, el término densidad del combustible se utiliza para describir la composición y las características físicas del combustible de un área determinada; sin embargo, debido a la dificultad de esta tarea, se realizan generalizaciones a través de modelos de combustibles (Anderson, 1982).

Los modelos de combustible representan el comportamiento típico del fuego o de las condiciones del combustible para un área específica. Según Rollins *et al.* (2004), los modelos actuales presentan limitaciones para predecir el comportamiento del fuego, pues éstos no incluyen informaciones suficientemente detalladas sobre la densidad o contenido de agua en el combustible.

En los estudios realizados en la Amazonía, varios autores que estimaron este parámetro encontraron variaciones significativas con un factor de hasta 2 veces entre diferentes tipos de cobertura (p. ej., Fearnside, 1985; Brown y Lugo, 1986). Ward *et al.* (1992) midieron la densidad de la biomasa en áreas pilotos de las sabanas y de la Amazonia brasilera, valiéndose de modelos de intersección planar. Para ello, se definieron líneas de transectos antes de la ocurrencia de las quemadas (30, 15 y 10, respectivamente para los bosques primarios y secundarios en la Amazonia, y sabanas). Las mediciones mostraron que, para la fisonomía de sabana, la densidad de la biomasa es equivalente al total de la biomasa por encima del suelo; mientras que en el bosque semidecidual, los troncos y el dosel son relativamente resistentes al fuego. El estudio mostró también que el combustible fino muerto se quema totalmente, contribuyendo significativamente con la propagación del fuego superficial.

Kauffman *et al.* (1994) cuantificaron el combustible de la biomasa a lo largo del gradiente de vegetación de las sabanas (de sabanas herbáceas a sabanas arbustivas), en la Reserva Ecológica del Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística (IBGE), a través de mediciones y colecta de material en campo. Los resultados apuntaron a una mayor cantidad de combustible en la sabana arbustiva densa (10.031 kg/ha), y menor en la fisonomía de sabana herbácea (7.128 kg/ha). En las fisonomías de sabana herbácea y sabana arbustiva rala, las gramíneas representaron entre el 91 y el 94% del total de la biomasa por encima del suelo. En las fisonomías de sabana arbustiva rala y densa, las gramíneas comprendieron apenas el 27% de la biomasa por encima del suelo; la biomasa remanente estaba compuesta de madera muerta (18%), litera (36%) y hojas de arbustos (18%).

Datos de percepción remota también se utilizan para estimar la densidad de la biomasa, principalmente, con la información contenida en la región óptica del espectro

electromagnético, a partir de la cual se derivan diferentes índices de vegetación. A nivel regional o global, es común utilizar datos del sensor AVHRR/NOAA o MODIS/TERRA-AQUA. Sin embargo, para obtener mayor precisión en las estimaciones, los índices de vegetación deben ser estimados con datos de alta resolución espacial, a ejemplo del TM/Landsat.

Barbosa *et al.* (1999) estimaron emisiones de gases traza y aerosoles a partir de la cuantificación de la biomasa total quemada y de factores de emisión obtenidos con parámetros biofísicos. La densidad de la biomasa fue estimada con datos de la literatura y con el IVDN (AVHRR). Los resultados obtenidos mostraron una subestimación de la biomasa quemada en relación a los valores encontrados en la literatura (variando en un factor de 1,1 a 3,3 veces).

Palacios-Orueta *et al.* (2004) estimaron emisiones atmosféricas a partir de la quema de biomasa en sabanas del continente africano, basadas en el modelo propuesto por Seiler y Crutzen (1980). Los parámetros como la densidad de la biomasa y la eficiencia de la quema fueron modelados con datos de percepción remota dentro de un contexto espacial y temporal, con el fin de mejorar la precisión en las estimaciones de las emisiones. En la metodología propuesta por los autores, la estimación de la densidad de la biomasa se basó en la variación espacial de los índices de vegetación (IVDN), obtenidos con datos del sensor SPOT-Vegetation, en el período de un año.

Cabe señalar que el IVDN ha sido ampliamente utilizado por diversos autores como sustituto de la producción de biomasa en diferentes ecosistemas; que demuestra, a escala global, que existe una alta correlación entre estas dos variables (Barbosa *et al.*, 1999; Box *et al.*, 1989). Sin embargo, es importante resaltar que el IVDN es sensible a la biomasa verde, pero no a otros componentes como troncos y ramas que, en muchos ecosistemas, representan la mayor parte de la biomasa. Así, el uso de esta metodología es apropiada en ecosistemas de sabana, pero su aplicación en áreas de bosques no está comprobada.

Otra variable importante que contribuye con la precisión en las estimaciones se refiere a la disponibilidad de información actualizada sobre el combustible de la biomasa. En los ecosistemas de sabana es posible actualizar las estimaciones de este parámetro

relacionando la cantidad de biomasa con los intervalos de retorno del fuego (recurrencia), ya que altas tasas de recurrencia pueden ser indicativas de baja disponibilidad de biomasa.

Un ejemplo de esta metodología es presentado por Olson (1981), al reconocer la relación inversa que existe entre la cantidad de biomasa y la frecuencia e intensidad del fuego. A partir de esta relación el autor estableció diferentes categorías de recurrencia para los principales ecosistemas del mundo. Scholes *et al.* (1996a) incluyeron las recurrencias en estimaciones de la biomasa total consumida por el fuego, relacionando el régimen de quema con categorías de vegetación. De esta forma, los autores infirieron la cantidad de biomasa en función de los intervalos de retorno del fuego. Sin embargo, cabe destacar que en este tipo de procedimiento existe el riesgo de asociar erróneamente regímenes de quema a los tipos fisionómicos, principalmente cuando los mapas de vegetación disponibles se encuentran a escalas pequeñas.

Las estimaciones de la densidad de la biomasa se pueden realizar mediante mapeo del combustible utilizando datos de percepción remota, que involucra técnicas de procesamiento de datos. Según Keane *et al.* (2001), dos estrategias se utilizan para mapear el combustible a diferentes escalas. La primera asocia de forma directa las características del combustible al resultado de la clasificación de imágenes o de la interpretación de fotos aéreas. La segunda estrategia utiliza datos orbitales de forma indirecta, sustituyendo las características de los ecosistemas por la densidad del combustible. Este enfoque parte del principio de que es posible clasificar algunas propiedades biofísicas y biológicas de la vegetación con datos orbitales, ya que estos atributos están bien correlacionados con las características del combustible o con los modelos de combustibles.

McKinley *et al.* (1985) clasificaron directamente en un mapa de vegetación las características del combustible estimadas con el IVDN y componentes principales, calculadas a partir de la composición de imágenes AVHRR. En una escala más detallada, Merrill *et al.* (1993) estimaron biomasa viva en gramíneas del Parque Nacional de Yellowstone (Estados Unidos), utilizando modelos de regresión en las bandas 4, 6 y 7 del

sensor MSS/Landsat. Waring y Running (1998) estimaron la biomasa del dosel a partir del Índice de Área Foliar (IAF) utilizando el área foliar específica (kg/m^2). Salas y Chuvieco (1994) clasificaron imágenes TM/Landsat directamente con el mapa de modelos de combustible de Anderson (1982).

A pesar de que este enfoque se considera una técnica simple que minimiza la propagación de errores, como aquellos provenientes de la clasificación de la vegetación, se debe alertar que la exactitud del mapeo directo del combustible es adecuada para estimar biomasa total viva o muerta en ecosistemas de sabana o arbustivo (Friedl *et al.*, 1994, Millington *et al.*, 1994). Sin embargo, en áreas boscosas presenta limitaciones importantes en la discriminación entre combustibles de la superficie y del dosel, ya que este último impide al sensor detectar el sotobosque (Elvidge, 1988; Belward *et al.*, 1994).

Los nuevos métodos para estimar la densidad de la biomasa utilizan datos de sensores activos como los radares de apertura sintética (SAR) y de luz polarizada (Light Detection and Ranging - LIDAR), este último emite pulsos entre las bandas del ultravioleta y el IRC. En el caso del radar, la información obtenida con este sensor proporciona estimaciones precisas acerca de la altura y la cantidad de vegetación, utilizando múltiples sistemas de polarización, de ángulos de visión y de bandas de observación. Aunque las resoluciones espacial y temporal son más adecuadas para estudios a escala local, el actual crecimiento de los sistemas de radar orbital posibilitaría en el futuro cercano la realización de estimaciones de biomasa a escala global (Palacios-Orueta *et al.*, 2005).

En cuanto a los datos obtenidos con el sensor LIDAR, las metodologías utilizadas apuntan a una alta precisión de este sensor cuando se utiliza para estimar la altura y el área basal de comunidades arbóreas. A pesar de la amplia difusión de este sensor en varias plataformas orbitales, problemas técnicos han dificultado su operatividad. Sin embargo, la futura disponibilidad de estos datos también posibilitaría estimaciones de biomasa a escala global (Palacios-Orueta *et al.*, 2005).

Aun cuando diferentes métodos son utilizados para estimar la densidad de la biomasa con datos y técnicas de percepción remota, es importante destacar que existen

incertidumbres en las mediciones de este parámetro cuando se obtienen con datos orbitales. Una de las propiedades más importantes del combustible que contribuye notablemente a la incertidumbre en las estimaciones de biomasa es su alta variabilidad espacial y temporal. Por otro lado, existe mucha dificultad para discriminar tipos diferentes de combustible utilizando datos orbitales, debido a la disparidad entre el tamaño del material combustible y la resolución espacial de las imágenes. El combustible fino es muy pequeño para ser detectado por los sensores que operan actualmente y, normalmente, se encuentra escondido bajo la vegetación rastrera (Finney, 1998).

c) Eficiencia de la quema (*E*)

Es considerado uno de los parámetros de mayor incertidumbre utilizados para estimar la biomasa quemada debido a la alta variabilidad espacial del combustible y su disponibilidad, la cual no depende sólo de las características de los ecosistemas, sino también de las condiciones ambientales locales (Carvalho *et al.*, 2001). Desconsiderando la influencia de la precipitación, la eficiencia de la quema depende de la cantidad de agua contenida en las plantas y del combustible fino (vivo o muerto) consumido por el fuego Menaut *et al.* (1991).

El contenido de agua en las plantas varía según cada especie. En la estación seca, la capa herbácea de la vegetación (compuesta principalmente por hojas de gramíneas) presenta bajo contenido de agua (20 a 30%), mientras que en el estrato arbustivo este valor es mayor (alrededor del 50%). La disponibilidad de agua influye en los cambios fenológicos de la vegetación y determina la proporción relativa del material vivo y muerto (Menaut *et al.*, 1991). El material fino muerto es más propenso a la combustión y a la influencia del fuego que la vegetación viva (debido al alto contenido de agua) y que otros componentes del combustible de la biomasa (Palacios-Orueta, *et al.*, 2005).

Antes de la quema, la proporción de materia muerta es significativamente mayor en la vegetación herbácea seca que en la húmeda. Considerando la proporción relativa de material vivo y muerto y su contenido de agua en ambos, la proporción de agua contenida en el estrato gramíneo decrece gradualmente desde el final del período húmedo,

momento en que la biomasa alcanza su máximo valor (alrededor del 50% agua), hasta el auge del período seco (alrededor del 30% de agua). Por lo tanto, las quemas que ocurren al inicio del período seco consumen menores cantidades de combustible que aquellas ocurridas durante el final de este período, presentando una baja eficiencia de combustión y, consecuentemente, diferencias significativas en las emisiones atmosféricas (Menaut *et al.*, 1991).

A escala global, las estimaciones del contenido de agua en el material combustible se suelen hacer a partir de índices meteorológicos, utilizando variables como la temperatura del aire, la humedad relativa, la precipitación y la velocidad del viento. En un primer acercamiento estos índices parecen ser adecuados para estimar la eficiencia de la quema (Mack *et al.*, 1996); sin embargo, para modelar este parámetro se requieren mediciones distribuidas espacialmente de forma continua, la cual es prácticamente inviable en este tipo de escala considerando la escasez o ausencia de datos meteorológicos en ciertas áreas del planeta (Palacios-Orueta, *et al.*, 2005). Por otro lado, los índices meteorológicos son adecuados para estimar el contenido de agua en combustibles finos secos, pero su uso no es apropiado en la vegetación viva o en combustibles de mayor tamaño (Viney, 1991; Viegas *et al.*, 2001).

Varios autores han estimado valores medios de eficiencia de la quema para diversos ecosistemas y tipos de cobertura terrestre, utilizando diferentes métodos. Scholes *et al.* (1996a) estimaron la cantidad de combustible consumido utilizando un mapa de vegetación del Hemisferio Sur del continente africano, reclasificando las clases originales en tipos fisionómicos con regímenes de quema similares. A partir de esta reclasificación los autores definieron cinco tipos de combustible diferentes, modelando la acumulación del combustible para cada año investigado.

Los datos de percepción remota se utilizan para estimar la eficiencia de la quema mediante el mapeo de la severidad del fuego después de la ocurrencia de las quemas. El mapeo de la severidad del fuego permite evaluar los efectos de la variabilidad en la distribución espacio-temporal del fuego en la vegetación como, por ejemplo, la mortalidad de las plantas y el régimen de quema (White *et al.*, 1996, Medler y Yool, 1997,

Lambin , 2003). Los datos orbitales también son apropiados para monitorear el contenido de agua en el combustible vivo combinando índices de vegetación (por ejemplo, variación temporal del IVDN) con la temperatura de la superficie (Paltridge y Baker, 1988).

Barbosa *et al.* (1999) estimaron la cantidad de biomasa quemada en un período de 6 años utilizando como parámetros el área quemada, la densidad de la biomasa y la eficiencia de la quema. Este último parámetro fue estimado con base al Índice de Verdor Relativo (RGI), el cual se calcula a partir del coeficiente entre el IVDN actual y el IVDN máximo y mínimo del período de estudio. El uso del RGI busca discriminar las variaciones estacionales de la vegetación de los cambios espaciales (p. ej. cambio en la cobertura terrestre). Por este motivo, se considera adecuado para detectar los cambios en el contenido de agua en los combustibles.

No obstante, la relación entre el contenido de agua en los combustibles y el IVDN ha sido recientemente cuestionada, después de haber demostrado que este índice de vegetación no es tan sensible a las variaciones del contenido de agua, como lo es a la cantidad de clorofila de la vegetación; además de comprobar que las estimaciones de eficiencia de la quema utilizando el IVDN son más precisas en comunidades herbáceas que en comunidades arbustivas o forestales (Ceccato, *et al.*, 2001, Chuvieco *et al.*, 2003).

Otros estudios han sugerido el uso de las reflectancias de la región del IRC y del IRM como mejor estimador del contenido de agua (Índice Infrarrojo por Diferencia Normalizada - IIDN), en sustitución del IVDN (basado en las reflectancias de la región del rojo y del IRC). Chuvieco *et al.* (2004) relacionaron el contenido de agua en combustibles con la temperatura de la superficie y con el IIDN, obtenidos con datos orbitales de diferentes resoluciones (TM/Landsat, Vegetation/SPOT y AVHRR/NOAA), con el objetivo de estimar la eficiencia de la quema en ecosistemas mediterráneos (gramíneas y arbustos). Los resultados de este trabajo apuntaron a una buena correlación entre el contenido de agua en los combustibles y la reflectancia del IVM, para ambos ecosistemas. Esta correlación aumentó cuando la reflectancia del IRM fue sustituida por el índice de vegetación.

Después de la estimación de la cantidad de biomasa consumida por el fuego (ecuación 1), la masa total de una especie química determinada (p. ej. carbono), emitida a la atmósfera durante la quema se relaciona con M (ecuación 2):

$$M(C) \times C = M \quad (2)$$

Siendo que, $M(C)$ es la masa total de carbono emitida (peso); y C es el contenido de carbono en la biomasa (combustible) quemada (adimensional). En este caso, C es generalmente asumido como el 45% de la masa del combustible consumido por el fuego (M) (Scholes *et al.*, 1996b), variando entre 40 y 50% dependiendo del tipo fisionómico afectado por el fuego (Crutzen y Andreae, 1990; Prince *et al.*, 1995).

Posteriormente, la masa total de CO_2 emitida durante la quema [$M(CO_2)$] (peso) puede ser relacionada con $M(C)$ a través de la eficiencia de la combustión (EC) (adimensional), utilizando la siguiente ecuación:

$$M(CO_2) \times EC = M(C) \quad (3)$$

Donde, EC corresponde a la fracción de carbono emitida como CO_2 en relación a la cantidad total de carbono emitido durante la quemada [$M(C)$].

Cabe explicar aquí que la masa total emitida durante la quemada puede ser estimada para cualquier especie química. No obstante, este cálculo se hace preferentemente para el CO_2 o el CO (considerados como gases de referencia), ya que a partir de la masa total emitida en cada uno de estos gases es posible correlacionar las emisiones de los gases restantes, dependiendo del tipo de gases combustión ocurrida (con o sin llama). (Palacios-Orueta *et al.*, 2005).

d) Eficiencia de la combustión

La eficiencia de la combustión es un parámetro fundamental que integra gran parte de las variables que afectan la oxidación del combustible de la biomasa (Ward y Hardy, 1991). El tipo de ignición asociado a la estructura y composición de la vegetación y a las condiciones climáticas (principalmente el contenido de humedad) influyen la eficiencia de la

combustión y, consecuentemente, la biomasa consumida y las tasas de emisiones. (Ward *et al.*, 1992).

La eficiencia de la combustión representa la contribución relativa de dos fases que ocurren durante las quemas: la combustión con y sin llama. La fase de combustión con llama es más eficiente que la sin llama, y resulta en la emisión de mayores proporciones de especies químicas como CO_2 , NO , NO_2 , N_2O y N_2 , pero menores cantidades de gases de combustión incompleta como CO , CH_4 y otros hidrocarburos distintos al metano (NMHC) (Kasischke *et al.*, 1995).

La extensión y el tiempo de ocurrencia del fuego son variables importantes, pues la combustión con llama predomina al inicio del fuego y dura pocos minutos debido a la rápida oxidación del combustible fino disponible. La fase de combustión con llama (alta temperatura y disponibilidad de oxígeno) está asociada a tasas de emisiones altas (Andreae y Merlet, 2001). La eficiencia de la combustión en esta fase ha sido medida en una amplia variedad de incendios y normalmente se encuentra por encima de 0,90 (para valores de referencia entre 0 y 1) (Ward y Hao, 1991). Por otro lado, las tasas de emisiones en los incendios que ocurren durante la noche son más bajas que durante el día (Ferguson *et al.* (2000).

La mayoría de los valores encontrados en la literatura se refieren a las estimaciones de este parámetro hechas para los ecosistemas de sabana y bosque. Ward *et al.* (1992) estimaron la eficiencia de combustión en áreas de sabana y en la selva tropical húmeda (Amazonia). En la vegetación de sabana la eficiencia de la combustión fue de 0,94 durante la fase de combustión con llama (90% de la biomasa quemada), y de 0,90 en la fase de combustión sin llama (sólo el 10% de la biomasa quemada). Para el bosque primario y secundario se encontraron valores de eficiencia menores, siendo que en la fase de combustión con llama la eficiencia fue de 0,88 (sólo el 20% de la biomasa quemada) y de 0,80 en la fase de combustión sin llama (80% de la biomasa quemada).

Los resultados obtenidos por Kauffman *et al.* (1994), a lo largo del gradiente de la vegetación de sabana, mostraron que en la fisonomía de sabana herbácea la combustión

sin llama estuvo ausente después de la fase de combustión con llama. Por el contrario, en las fisonomías de sabana arbustiva rala y sabana arbustiva densa (particularmente en combustibles leñosos vivo y muerto) prevaleció la combustión sin llama. La eficiencia de combustión fue estimada en 95, 92,5 y 93,5%, respectivamente para las fisonomías de sabana herbácea, sabana arbustiva rala y sabana arbustiva densa.

2.2.2.3.2 Estimación de emisiones atmosféricas en relación con un gas de referencia

a) Cociente de emisión

El coeficiente de emisión, estimado a partir de experimentos en condiciones específicas de quema, es el cociente entre la concentración de una especie química y la concentración de una especie de referencia (CO_2 o CO) emitida durante la quema [$ER(X_i)$] (adimensional).

A partir del momento en que se estima la masa de CO_2 emitida, la masa de cualquier otra especie química [$M(X_i)$] (peso de un determinado gas/período determinado) producida durante las quemas y liberada a la atmósfera puede estimarse en relación a una especie de referencia (en este caso el CO_2 , pero podría ser también en relación al CO), normalizada para cada especie química, a través de [$ER(X_i)$]. Por ejemplo, el cociente de emisión para una especie determinada (X_i) en relación al CO_2 , sería:

$$ER_{(X_i / CO_2)} = \frac{\zeta_{X_i}}{\zeta_{CO_2}} \times \frac{(X_i)_{fumaça} Z(X_i)_{ambiente}}{(CO_2)_{fumaça} Z(CO_2)_{ambiente}} \quad (4)$$

De esta forma, la masa total de la especie (X_i) emitida se relaciona con la masa total de CO_2 emitida [$M(CO_2)$] a través de [$ER(X_i)$].

$$M(X_i) = ER(X_i) \times M(CO_2) \quad (5)$$

Siendo que (X_i) puede ser cualquiera de las especies de gases traza (CO , CH_4 , NO_x , NH_3 , O_3 , entre otros).

La selección del gas de referencia se realiza con base a los objetivos definidos en un análisis determinado o en función del tipo de combustión (con llama o sin llama) en la cual el gas de referencia predomina. El CO es predominantemente emitido durante la fase de

combustión sin llama; por lo tanto, se considera un gas de referencia adecuado para estimar otras especies emitidas durante esta fase. Según Andreae y Merlet (2001), altas correlaciones han sido observadas entre los gases emitidos durante la fase sin llama y el CO, lo que hace más precisas las estimaciones de emisiones de gases traza en las que se conocen previamente las emisiones de CO. Por el contrario, las correlaciones entre los gases emitidos durante la fase sin llama y el CO₂ son relativamente más bajas.

Por otro lado, especies de gases emitidos durante la fase con llama presentan una buena correlación con el CO₂; por lo tanto, considerado un gas de referencia adecuado para esas especies químicas. En razón de que la mayor parte de la cantidad de carbono emitido durante una quemada es en forma de CO₂, el cociente de emisión de un determinado gas en relación al CO₂ permite estimar la emisión de gases traza basado en la cantidad de biomasa quemada. Por este motivo, el cociente utilizando el CO₂ como gas de referencia es el parámetro más adecuado para las estimaciones de emisiones a nivel regional y global. Sin embargo, cuando las características de la combustión no se conocen, es común utilizar un factor de emisión para estimar el CO₂, y el EC para estimar otros gases (utilizando el CO₂ como referencia) (Andreae y Merlet, 2001).

La estimación de emisiones atmosféricas basadas en el cociente de emisión no requiere conocimiento sobre la composición ni la cantidad del combustible consumido; por lo tanto, este procedimiento es adecuado para estudios en campo, particularmente para medir la concentración de especies en las plumas de humo en lugares donde usualmente no existe información sobre el combustible (Palacios-Orueta *et al.*, 2005).

2.2.2.3.3 Estimación de emisiones atmosféricas en relación a la cantidad de biomasa consumida

a) Factor de emisión

Otra forma de representar las emisiones de GEI es a través de un factor de emisión (FE), definido como la cantidad de una determinada especie química emitida a la atmósfera [$M(X_i)$] en relación a la cantidad del combustible (seco) consumido (M_{biomasa}) (ecuaciones 6 y 7). El cálculo de estos parámetros requiere el conocimiento de la cantidad de carbono contenida en la biomasa quemada y del balance de carbono durante la quema; los cuales

son de difícil cuantificación en campo, al contrario de lo que ocurre cuando se mide en el laboratorio donde son fácilmente determinados. El carbono total emitido normalmente se estima mediante la suma de las concentraciones de CO_2 , CO , hidrocarburos y partículas de carbono, cuando están disponibles.

$$FE(X_i) \times \frac{M(X_i)}{M_{biomassa}} \times \frac{M(X_i)}{M(C)} (C) \quad (6)$$

$$FE(X_i) \beta \frac{(X)}{[(C_{CO_2}) \Gamma (C_{CO}) \Gamma (C_{CH_4}) \Gamma \dots]} (C) \quad (7)$$

Donde $FE(X_i)$ es el factor de emisión para una especie química determinada y se expresa comúnmente en gramos de una especie química por kg de materia seca (biomasa consumida), (X) es la concentración de una determinada especie química en la pluma de humo y $[(C_{CO_2}) + (C_{CO}) + (C_{CH_4}) + \dots]$ corresponden a las concentraciones de varias especies de carbono en la pluma de humo. De manera alternativa, el balance de carbono de una quemada puede ser estimado mediante la multiplicación del CO_2 en la pluma de humo por un factor asumido representativo de las emisiones de carbono distintas al CO_2 .

Así, la masa total de la especie (X_i) emitida se relaciona con la biomasa total consumida a través de la siguiente ecuación:

$$M(X_i) \times FE(X_i) \mid M \quad (8)$$

Finalmente, es importante destacar que las mediciones utilizadas en el cálculo del FE sólo están disponibles para algunas áreas específicas del planeta o para experimentos realizados en laboratorio. Por lo tanto, el uso de este modelo en áreas donde los cambios en la cobertura terrestre son frecuentes (como áreas de bosque convertidas a otros usos) o que presentan alta variabilidad entre diferentes clases de cobertura (como bosques en contraposición a sabanas), ocasiona altos niveles de incertidumbre en las estimaciones de emisiones; debido a la dificultad de aplicar coeficientes precisos.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS FÍSICO NATURALES Y SOCIO-CULTURALES Y SU INFLUENCIA EN LA OCURRENCIA Y MANEJO DEL FUEGO EN EL PARQUE NACIONAL CANAIMA

3.1 Clima y aspectos meteorológicos

La actividad meteorológica y las características climatológicas del Parque Nacional Canaima están fuertemente influenciadas por el desplazamiento anual del frente intertropical de convergencia y los vientos alisios. Estas características varían espacialmente debido al gran número de elevaciones –tepuyes–que ocasionan el ascenso de las masas de aire las cuales, al condensarse, forman nubes orográficas, incidiendo en la radiación recibida y en el régimen de precipitación del Parque (CVG-EDELCA, 2003).

La precipitación media anual en el Parque Nacional Canaima es de 3.169 mm y el régimen de precipitación anual es unimodal, con un período lluvioso entre mayo y noviembre y otro seco entre diciembre y abril. La menor pluviosidad del parque se registra en los flancos norte y sur del Auyán-tepui y en el valle y alrededores del río Aponwao (menor a 2.000 mm/año). Los núcleos de mayor precipitación se encuentran en la Sierra de Lema (> 5000 mm/año), los alrededores de Urimán, al norte del Auyán-tepui y al oeste del Macizo de Chimantá. En estos dos últimos casos se nota la influencia de los vientos alisios del nordeste, que al encontrarse con estos accidentes orográficos, forzosamente ascienden por las vertientes, enfriándose adiabáticamente y formando nubes orográficas, las cuales finalmente precipitan en esta zona (Rivera-Lombardi, 2009a).

La temperatura media anual en el Parque Nacional Canaima presenta un régimen isotérmico y poca variabilidad anual, debido a su ubicación en la región tropical, donde no existen variaciones superiores a 5 °C entre el mes más cálido y el mes más frío. La temperatura media anual es de 21,3 °C, con una oscilación térmica de 1,8 °C. Los valores máximos de temperatura ocurren en los meses de marzo y mayo y los mínimos en enero y julio. Las mayores temperaturas medias anuales se observan en los valles de los ríos

Caroní, Akanán, Carrao, Cucurital y Antabare, presentándose el mayor valor en la estación meteorológica de Canaima (27,4 °C). Los centros de menor temperatura media anual se localizan en las partes más elevadas de los tepuyes, donde se alcanzan valores medios por debajo de 14 °C (Rivera-Lombardi *et al.*, 2006).

Según la clasificación climática de Koeppen, en el Parque Nacional Canaima existen dos tipos climáticos: a) Tropical Lluvioso Monzónico (Am) , caracterizado por presentar un mes en el cual la precipitación media es inferior a 60mm y donde las estaciones meteorológicas representativas de este tipo climático son Kamarata y Canaima; y b) Tropical Lluvioso de Selva (Af), caracterizado por presentar todos los meses con precipitaciones superiores a 60 mm. Las estaciones meteorológicas representativas de este último tipo climático son Kavanayén, Urimán y Wonkén (Rivera-Lombardi *et al.*, 2006).

3.2 Hidrografía y drenaje

El Parque Nacional Canaima se ubica, casi en su totalidad, dentro de la cuenca del río Caroní y en menor proporción, en la parte alta de la cuenca del río Cuyuní al nordeste del Parque. La cuenca del río Caroní, drenada por dos grandes sistemas fluviales – los ríos Caroní y La Paragua – ocupa una superficie aproximada de 95.000 km², la mayor de las cuencas de la Guayana venezolana (Huber, 1995a).

La red hidrográfica de la cuenca del río Caroní es compleja y sus aguas presentan variaciones considerables en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, ya que están fuertemente influenciadas por la geología, la cobertura vegetal y los regímenes climáticos particulares de esta cuenca.

El río Caroní es un importante tributario del río Orinoco, el más largo y caudaloso del país. Es el principal curso de agua de la cuenca que lleva su nombre y con una longitud de 760 km, es considerado como el río de mayor potencial hidroeléctrico de Venezuela. Sus cabeceras se encuentran a 2.700 m de altitud, correspondiendo a la parte alta de la cuenca del río Kukenán, el cual se origina en las cumbres del Kukenán-tepui y discurre hasta la confluencia con el río Karuay, lugar desde donde el río Caroní lleva su nombre

(Huber, 1995a). Su cauce presenta un control geológico estructural fluyendo en sentido este-oeste desde su confluencia con el río Karuay, luego hacia el noroeste desde su confluencia con el río Ikabarú, para finalmente dirigirse al norte desde su confluencia con el río Urimán. Es un río típico de aguas de color negro o marrón oscuro, con muy bajas cantidades de partículas en suspensión, debajo a extremadamente bajo contenido de nutrientes y alta acidez (pH 3.8- 5.0) (CVG-TECMIN, 1989).

A lo largo de todo el cauce del río Caroní se encuentran frecuentes saltos pequeños y rápidos, debido a saltos estructurales o cambios litológicos. Desde su confluencia con el río Karuay hasta San Salvador de Paúl se comporta como un río de cauce consecuente, a través de las cuestas que han evolucionado a partir de rocas sedimentarias de la Formación Roraima. Desde San Salvador de Paúl hasta Arekuna presenta un control estructural por las capas de arenisca de la Formación Roraima, atravesando una misma fila de areniscas a través de estrechas gargantas. Desde Arekuna hasta San Pedro de las Bocas, donde confluye con el río Paragua, su hidrografía cambia de un canal bien calibrado a un drenaje anastomosado. En esta zona su curso ha sido parcialmente inundado por la represa Raúl Leoni (CVG-TECMIN, 1989). Los principales tributarios de la margen derecha del río Caroní son los ríos Yuruaní, Apanwao, Karuay, Tirika, Apakará, Urimán, Cucurital, Carrao y Antabare.

3.3 Fisiografía

Según Huber (1995) en el Parque Nacional Canaima se pueden reconocer tres grandes unidades fisiográficas, a saber:

- **Tierras bajas:** situadas entre el nivel de Imar y 500 m de altitud aproximadamente, caracterizadas por presentar un relieve de colinas bajas y temperaturas medias anuales superiores a los 24°C. Estas comprenden la parte baja de los valles de los ríos Caroní, Carrao y Cuyuní.
- **Tierras medias:** situadas entre los 500 y 1.500 m de altitud aproximadamente, donde predominan relieves de colinas, montañas bajas, planicies altas onduladas, laderas bajas de los tepuyes y las cimas de los tepuyes bajos. Tienen temperaturas medias

anuales entre los 18°C y 24°C y se distribuyen por todo el Parque Nacional Canaima, cubriendo la mayor parte del mismo.

)Tierras altas: situadas entre los 1.500 y 3.000 m de altitud, presentan temperaturas medias anuales entre 8°C y 12°C y constituyen el rasgo fisiográfico más característico del parque, representadas por montañas de areniscas tabulares de topos planos y acantilados verticales, conocidas como tepuyes.

Esta división fisiográfica general se correlaciona significativamente con los diferentes tipos de vegetación, como resultado de una clara zonificación climática, principalmente en cuanto a temperatura. En apartados posteriores se detallarán las diferentes unidades de vegetación y su clasificación y relación con respecto a los aspectos climáticos.

3.4 Geología y geomorfología

El Parque Nacional Canaima se encuentra emplazado en el Escudo de Guayana, por su origen Precámbrico constituye uno de los núcleos terrestres más antiguos del continente americano, el cual presenta evidencias de las diferentes fuerzas y ciclos erosivos que han actuado en el pasado y continúan actuando en el presente. El clima y los eventos tectónicos representan los principales modeladores que han producido una secuencia de superficies de erosión claramente reconocibles a diferentes niveles altitudinales (Schubert y Briceño, 1987).

En el parque se pueden diferenciar dos zonas litológicas predominantes pertenecientes a la Provincia Geológica de Roraima, depositadas sobre el Grupo Cuchivero y el Grupo Pastora. La primera es una capa discontinua de rocas sedimentarias estratificadas, depositada sobre el basamento ígneo-metamórfico del Escudo de Guayana, de hasta unos 3.000 m de espesor, constituida por un nivel basal, medio y superior. Su composición varía en el mismo orden desde areniscas cuarzosas y conglomeráticas, lutitas y limolitas, arcosas rojas, tobas vítreas, areniscas volcánicas, hasta areniscas cuarzosas bien cementadas, estas últimas presentes en las cimas de los tepuyes (CVG-TECMIN, 1989). La segunda zona, consiste en afloramientos irregulares y dispersos de rocas intrusivas de edad más reciente, las cuales han penetrado repetidamente la capa de rocas

sedimentarias durante los períodos Paleozoico y Mesozoico (Briceño *et al.*; 1990). Estas rocas intrusivas de origen magmático son predominantemente de diferentes tipos de diabasas y en menor proporción, de granitos. Los suelos que se han formado a partir de rocas intrusivas presentan menor contenido de sílice en relación a los que se han originado a partir de los granitos más antiguos del basamento metamórfico y de las cuarcitas del Grupo Roraima. Por ello, son considerados más fértiles y frecuentemente están cubiertos por bosques densos (Huber, 1995a).

Las rocas del Grupo Roraima se encuentran levemente plegadas y metamorfizadas. Sus estructuras regionales consisten en amplios pliegues muy suaves y fallas en bloques de ángulo alto. El patrón de fallas presenta dos sistemas de lineamientos generales con predominio nordeste y noroeste, formando ángulos entre 60° y 80° (CVG-TECMIN, 1989).

Desde el punto de vista geomorfológico en el Parque Nacional Canaima se encuentran presentes, según CVG-TECMIN (1989), los siguientes tipos de paisajes:

Montaña

Este tipo de paisaje se ubica en el noroeste del parque, en las proximidades del poblado de Canaima. Se caracteriza por no superar los 400 msnm, ni presentar pendientes mayores al 60%. Litológicamente están conformadas por un sistema de diques y sills, compuestos de rocas básicas intrusivas. En el nordeste del parque también se encuentra este tipo de paisaje, en una cadena que se extiende en sentido norte-sur desde las nacientes del río Chicanán conformando la Serranía de Verdún, hasta las proximidades de El Callao (fuera del Parque Nacional Canaima), con altitudes cercanas a los 600 msnm y pendientes superiores al 60%. Litológicamente están conformadas por rocas volcánicas.

Los tipos de relieves predominantes en el paisaje de montaña están relacionados con la posición que ocupan dentro del mismo y el aspecto morfogenético. En cuanto a los relieves más elevados se pueden señalar la sierra y las vigas. Por su parte, el dique representa el tipo de relieve de la montaña baja, escarpada, con características morfogenéticas de origen estructural, mientras que los glaciares de denudación representan a los relieves de origen ablacional. Por otro lado, se encuentran las lomas aisladas,

producto de la intensa erosión, y las vegas representando la posición más baja de este paisaje.

Altiplanicie

Se presenta como una unidad de configuración tabular amplia, extensa y masiva, la cual ha evolucionado a partir de estratos de rocas sedimentarias tales como: areniscas cuarzosas, areniscas feldespáticas, areniscas volcánicas y otras, de la Provincia Geológica de Roraima. Localmente estas altiplanicies son conocidas con el nombre indígena pemón de tepuyes, caracterizadas por su gran elevación (Roraima con 2.723 m, Kukenán y Murey-tepui con 2.650 m, Tirepón-tepui con 2.600 m, Chimantá-tepui con 2.550 m, entre otros). El origen de los tepuyes se relaciona con la incisión y la formación de un valle en las capas sedimentarias, controlado por las diaclasas, durante períodos húmedos y de sucesivos retrocesos de escarpes y sedimentación en períodos más secos, originándose así una topografía de inselbergs de areniscas.

Dentro de la altiplanicie se incluyen además, relieves de cuestras y de “*hog backs*”. La altitud es muy variable, oscilando entre 500 y 800 msnm en el caso de los relieves de mesa, cuestra y *hog backs*, y entre los 2.400 y 2.700 m de altitud en el caso de las mesas más elevadas. Las altiplanicies de forma tabular como el Auyán-tepui y el Chimantá-tepui, presentan escarpes con un desnivel entre 200 y 500 msnm, llegando en algunos casos a 1.000 m de altitud, como en el Churún Merú o Salto Ángel.

Piedemonte

El paisaje de piedemonte corresponde a toda el área que circunda las altiplanicies. Se origina por la deposición de materiales provenientes de la fragmentación de bloques de arenisca y la actividad erosiva de las altiplanicies, ocurridas en el sector de la cornisa, o cara exterior de las mesas, así como en el frente de cuestras. La superficie del piedemonte está formada por un material detrítico bastante heterométrico, donde predomina la fracción arenosa, y por bloques generalmente de areniscas depositados en una espesa capa de detritos. La pendiente varía desde inclinada a muy inclinada, entre 16 y 60% en el caso de los depósitos heterométricos y mayor al 60% en el caso de los bloques.

El relieve más representativo del paisaje de piedemonte es el talud de derrubios. A través de las cornisas el talud recibe los aportes de los cursos de agua, los cuales construyen canales de escurrimiento concentrado y configuran una red de drenaje poco densa. Por otra parte, el glacis coluvial evoluciona al pie del talud de derrubios con un rango de variación de pendiente inferior al mismo (4-16%). Otro tipo de relieve presente en este tipo de paisaje son las vegas de piedemonte, originadas por los canales de escurrimiento concentrado que en su mayoría son de flujo intermitente.

Lomerío

El lomerío ocurre como un tipo de paisaje intermedio entre la montaña y la peniplanicie, ya que el material parental es semejante en estos tipos de paisajes. Entre los relieves presentes en este paisaje el más representativo lo constituye la loma y el dique. Los topos de las lomas son convexos, presentando suelos muy variados y superficiales, mientras que en las laderas son más profundos y muestran un desarrollo de la estructura pedogenética mayor. El dique, a su vez, presenta un perfil agudo en los topos y pendientes que varían entre 30 y 60%. El relieve de vega coluvial evoluciona en las áreas depresionales y en las zonas correspondientes a los escurrimientos concentrados, logrando su estabilización gracias a los aportes laterales a través de la erosión en forma de escurrimiento difuso.

En cuanto a la morfogénesis y evolución, el lomerío constituye una superficie de erosión con tendencia a evolucionar hacia superficies de peneplación a través de la actividad de procesos de erosión subaéreas. En la actualidad los lomeríos se encuentran, morfogenéticamente, en un estado de equilibrio dinámico.

Peniplanicie

Este tipo de paisaje forma parte de un área suavemente ondulada, representando la superficie de erosión más evolucionada de los paisajes que la rodean. Poseen pendientes variables entre 4 y 8% y un promedio altitudinal de 450 m. El substrato geológico ha sido formado por rocas volcánicas del Grupo Cuchivero, que una vez sometidas a eventos tectónicos y procesos erosivos severos muy prolongados dieron origen a este tipo de

paisaje dominados por colinas, las cuales constituyen el tipo de relieve más representativo de la peniplanicie.

La morfogénesis y evolución del paisaje de peniplanicie no ha alcanzado aún la etapa final de peneplación, no sólo por el hecho de que el área aún mantiene sus desniveles topográficos, sino también debido a que actualmente ocurren procesos de meteorización química y de erosión de materiales superficiales, que indican la inexistencia de un estado de equilibrio dinámico.

Valle

Este tipo de paisaje se ubica a lo largo de los ríos Caroní, Cucurital, Karuay, Akanán, Carrao, Tirika, Apakará y Urimán, Mowak, Aponwao, Yuruaní y Kukenán, entre otros, caracterizados por presentar valles de tipo residual. Los valles de grandes extensiones, cuyas pendientes varían entre 0 y 4%, incluye colinas bajas producto de la erosión diferencial cuyo material es netamente residual. El sector de posicional se limita a las márgenes de los ríos donde se forman las playas de textura arenosa por deposición continua de sedimentos. Los valles con drenaje deficiente están compuestos por colinas y vegas, y los valles bien drenados poseen, además de los relieves anteriores, la llanura de erosión.

La llanura de erosión es un tipo de relieve común en los valles de los ríos Akanán, Karrao y Karuay. Se caracteriza por una superficie plana y material superficial de acumulación residual y al aporte lateral de las colinas o de los piedemontes adyacentes, como es el caso del valle de Kamarata. La pendiente en la llanura de erosión oscila también entre 0 y 4%.

El origen y evolución de los valles está asociado a la tectónica y litología del substrato. En la secuencia sedimentaria del Grupo Roraima, por ejemplo, el cauce de los ríos es controlado estructuralmente por las cuestas de las altiplanicies; por otro lado, en las cabeceras de los valles el agua fluye sobre un lecho rocoso, indicativo de su etapa juvenil.

3.5 Vegetación y flora

La región de la Guayana Venezolana, presenta una diversidad florística muy alta en cuanto a las variaciones fisionómicas de las comunidades de plantas y a sus patrones de distribución geográfica se refiere, equivalente a la alta diversidad ecológica de la región. Asimismo, existe una correlación significativa entre los diferentes tipos de vegetación como resultado de una evidente zonificación altitudinal, específicamente con los tipos de vegetación montañosa, y la división fisiográfica general de la Guayana Venezolana en tierras bajas (0-500 m), tierras intermedias (500-1.500 m) y tierras altas (1.500-3.000 m) (Huber, 1995b).

Huber (1995b), señala que aún no es posible hacer una clasificación y descripción detallada de todos los tipos de vegetación encontrados en la Guayana Venezolana, debido al grado de conocimiento muy irregular de la misma, especialmente en las áreas extensivamente boscosas. Sin embargo, es posible resumir de manera general los detalles más distintivos de los diferentes tipos de vegetación. En términos amplios, cualquier tipo de vegetación terrestre (no antropogénica) que se encuentre en el área de estudio, pertenece a una de las siguientes formaciones de plantas, que se indican en el mapa de vegetación y áreas intervenidas por diferentes grupos de colores (Anexo E):

1. Formación arbórea.
2. Formación arbustiva.
3. Formación herbácea.

3.5.1 Formación arbórea

Como puede observarse en el mapa de vegetación y áreas intervenidas, sobresalen unidades de color verde, lo cual es un indicador de que la formación vegetal que cubre la mayor extensión dentro del área de estudio es la arbórea. Cabe destacar que la clasificación general de los tipos de bosques de la Guayana Venezolana requiere de una mayor división entre los tipos de bosques de las tierras bajas y los bosques montanos, debido al grado de complejidad que éstos presentan, donde los bosques de las tierras

bajas muestran el patrón típico de un mosaico de estructura horizontal, mientras que los bosques montanos presentan un patrón de distribución más vertical y regular, situados en franjas altitudinales que usualmente se integran de forma gradual (Huber, 1995b).

El criterio principal utilizado por Huber (1995b) para distinguir los distintos tipos de bosques se resume a seguir:

-Tamaño del estrato arbóreo principal

-) Alto (más de 25 m)
-) Mediano (15 - 25 m)
-) Bajo (5 - 15 m)

-Fenología

-) Siempreverdes (más del 75% de los árboles son siempreverdes)
-) Semidecíduos (25-75% de los árboles son siempreverdes)
-) Decíduos (menos del 25% de los árboles son siempreverdes)

-Condiciones de humedad del suelo

-) No inundado
-) Inundado
 - Permanentemente
 - Periódicamente o estacionalmente
-) Ribereño
-) Costero o estuarino

-Posición orográfica

-Composición florística

Bosques de las tierras bajas (0-500 m de altitud)

Los bosques de las tierras bajas, categoría en la cual se incluye el bosque premontano y algunos tipos de bosques basimontanos del piedemonte de los principales sistemas montañosos de la Guayana Venezolana, presentan una alta diversidad en estructura y

composición florística. La distribución de los ecosistemas de los bosques de las tierras bajas obedece a factores físicos como la geología local subyacente, los meso y micro climas, la extensión e intensidad de inundaciones y el contenido de los nutrientes de los suelos, entre otros; asimismo, a factores bióticos como la competencia intra e interespecífica, evolución histórica y quemas. Aparte de considerar a estos factores como determinantes en la actual distribución espacial de los diferentes tipos de bosques, también es importante comprender los cambios históricos ocurridos en las comunidades boscosas, incluyendo cambios climáticos del Cuaternario Reciente, así como los diferentes grados de intervención humana durante los últimos siglos (Huber, 1995b).

Debido a que los estudios de vegetación realizados en el área de estudio se han concentrado en las cimas y laderas de ciertas altiplanicies de la Formación Roraima, la información referida a los bosques de las tierras bajas es escasa (CVG.-TECMIN, 1989). Sin embargo, importantes estudios acerca de la dinámica del bosque tropical han demostrado que muchos tipos de bosques están pasando por fases sucesionales, cada una de las cuales caracterizada por un conjunto diferente de especies arbóreas dominantes. Es posible señalar entonces, que los bosques de las tierras bajas deben ser considerados con respecto a una escala de tiempo particular. Por otro lado, el reconocimiento de los distintos tipos de bosques de las tierras bajas tropicales, ricos en especies, presenta mucha dificultad debido a que los factores espaciales y temporales varían ampliamente de un sitio a otro. Por lo que sería más adecuado considerar la cobertura boscosa de las tierras bajas tropicales, como un mosaico compuesto de numerosas comunidades de árboles sin límites definidos, que van entremezclándose de un lugar a otro (Huber 1995b).

Bosques montanos (tierras intermedias y tierras altas entre 500-3.000 m de altitud)

En este piso altitudinal de la Guayana Venezolana, existe una amplia variedad de sistemas montañosos que van desde los insignes tepuyes hasta las extensas cordilleras graníticas, incluyendo a los macizos bajos aislados. El Parque Nacional Canaima, se encuentra dentro del área del Estado Bolívar que posee la mayor extensión continua de paisajes de tierras medias y altas de la Guayana Venezolana. Esto incluye, dentro del área de estudio, parte de la Sierra de Lema de altitud media, hacia el Nordeste, el macizo del Aparamán (Los

Testigos) al Norte, el macizo del Auyán-tepui al Noroeste, y el gigantesco macizo del Chimantá hacia el Sur. La mayor parte de esta área está cubierta por una variedad de bosques densos de tierras intermedias y tierras altas (Huber, 1995b), excepto las sabanas abiertas de los valles de Kamarata, Urimán, Wonkén y proximidades del poblado de Canaima.

Hacia el Caroní medio (Sudoeste y Oeste del área de estudio), a lo largo del Río Karrao y el Norte del área de estudio, se encuentran presentes bosques basimontanos y submontanos, altos a medios, siempreverdes. Estos bosques, debido a las numerosas copas emergentes de sus árboles, usualmente tienen una fisionomía irregular que favorece el crecimiento de un sotobosque denso. En esta área los árboles dominantes son *Virola surinamensis* (Myristicaceae), *Protium heptaphyllum* (Burseraceae), *Tabebuia insignis* (Bignoniaceae), *Anaxagorea petiolata* (Annonaceae), *Alexa confusa* (Fabaceae), *Ruizterania ferruginea* (Vochysiaceae), *Licania micrantha* (Chrysobalanaceae), *Simarouba amara* (Simaroubaceae), *Minquartia guianensis* (Olacaceae), *Pourouma* spp. (Cecropiaceae) y *Byrsonima stipulacea* (Malpighiaceae) (Huber, 1995b).

Hacia las laderas circundantes de los tepuyes que alcanzan los 1.600 m y el resto de las tierras intermedias del área de estudio, se encuentra un tipo de bosque en el cual los árboles generalmente son más bajos, sus copas aplanadas y se distribuyen más densamente en dos estratos. Estos son bosques montanos ombrófilos, siempreverdes, los cuales tienen una alta abundancia de epífitas, debido a la frecuente ocurrencia de niebla y un escaso crecimiento de arbustos y hierbas terrestres. Entre los árboles más importantes se tienen *Dimorphandra macrostachya* (Caesalpiniaceae), *Byrsonima stipulacea* (Malpighiaceae), *Sloanea pittieriana* (Elaeocarpaceae), *Platycarpum rugosum* (Rubiaceae), *Endlicheria nilssonii* (Lauraceae), *Sterigmapetalum guianense* (Rhizophoraceae), *Caryocar montanum* (Caryocaraceae), *Moronobea ptaritepuiana* (Clusiaceae) y *Podocarpus magnifolius* (Podocarpaceae) (Huber 1995b).

Entre aproximadamente los 1.600 y 2.000 m de altitud existe una franja de bosques montanos bajos y altos que usualmente se extiende a lo largo de las laderas superiores hasta la base de los acantilados verticales de los tepuyes. Esta es la típica zona de bosques

nublados, caracterizados por la presencia de nubes orográficas durante la mayor parte del año. Un componente predominante de los bosques nublados en estas áreas es el género *Bonnetia* (*Theaceae*), que frecuentemente forma grandes y densas colonias. *Bonnetia tepuiensis* y *B. roraimae* son particularmente abundantes en las laderas superiores del macizo del Chimantá, mientras que *B. steyermarkii* domina en las laderas superiores del Auyán-tepui (Steyermark 1967). Otros árboles importantes son *Podocarpus* ssp. (*Podocarpaceae*), *Magnolia ptaritepuiana* (*Magnoliaceae*), *Schefflera* ssp. (*Araliaceae*) y *Weinmannia* ssp. (*Cunoniaceae*). La mayoría de estos bosques nublados se asemejan a los bosques montanos enanos, donde los troncos y las ramas están cubiertas densamente por líquenes, musgos, helechos, y otras epífitas. El sotobosque es también muy denso con presencia de hierbas arrosetadas gigantes tales como *Orectanthe ptaritepuiana* (*Xyridaceae*), *Brocchinia tatei* (*Bromeliaceae*), *Didymiandrum stellatum* (*Cyperaceae*) y gramíneas bambusoideas (*Myriocladus* spp.) (Huber, 1995b).

Los bosques bajos, siempreverdes alto-tepuyanos (macizo del Chimantá y Auyán-tepui) crecen generalmente en suelos orgánicos (turba) sobre areniscas; sin embargo, se encuentran también en suelos minerales derivados de intrusiones de diabasas, especialmente en el macizo de Chimantá (Huber, 1992b), por consiguiente su fisionomía y composición florística son diferentes. Los bosques tepuyanos que crecen sobre la turba son dominados por *Bonnetia roraimae*, *B. tepuiensis* o por *B. wurdackii* (*Theaceae*), mientras que aquellos que crecen sobre suelos minerales generalmente son dominados por *Stenopadus chimantensis* (*Asteraceae*) y *Spathelia ulei* (*Rutaceae*) (Huber, 1995b).

La franja boscosa más elevada de la margen derecha de la cuenca del Río Caroní se localiza por encima de los 2.000 m de altitud y se desarrolla mejor en depresiones bajas, o a lo largo de quebradas y pequeños ríos en la cima de las altiplanicies de los grandes macizos tepuyanos tales como el Auyán-tepui y el macizo del Chimantá. La cima de los tepuyes más pequeños, usualmente sólo tiene parches de bosques que se restringen a sitios protegidos de los vientos o depresiones como en el Kamarkawarai-tepui. Esta franja de bosque montano alto se encuentra en altitudes de hasta 2.600 m, como es el caso del Murey-tepui, en el macizo del Chimantá (Huber, 1995b).

Los bosques alto-tepuyanos de *Bonnetia*, comparados con los bosques nublados de bajas elevaciones, poseen menor cantidad de especies y son fisionómicamente más homogéneos (Vareschi, 1992, según Huber, 1995b). Su estrato arbóreo normalmente alcanza de 6 a 12 m de altura, con densas copas micrófilas, ramas y tallos entrelazados, pocas epífitas y un estrato herbáceo relativamente abierto dominado por grandes colonias de hierbas arrosetadas, especialmente *Brocchinia* spp. y otras hierbas y arbustos bajos. Los bosques de los tepuyes que crecen sobre diabasas son más abiertos e irregulares que aquellos que crecen sobre areniscas, pero su estudio es tan escaso que no permite una descripción más detallada (Huber, 1995b).

3.5.2 Formación arbustiva

Según Huber (1995b), en la Guayana Venezolana los arbustales cumplen un papel particularmente importante en todas las unidades del paisaje, pues presentan un grado de diversidad fisionómica y florística única. Comparados con otras formaciones vegetales, los arbustales, presentan dificultades para ser distinguidos, especialmente en tipos de vegetación tropical donde se presenta una amplia variedad de crecimientos y vidas. Cabe destacar que hasta 1980 éstos no habían sido reconocidos como una categoría discreta en los mapas de vegetación. El mismo autor define un arbustal “como un tipo de vegetación natural baja en la cual un compartimiento leñoso (usualmente de 0,5 a 5 m de altura) se compone de arbustos y plantas arbustivas similares que constituyen la unidad funcional principal del sistema”. Si bien en esta caracterización ecológica los árboles o parches de vegetación herbácea pueden estar presentes, los arbustos predominan en términos de procesos energéticos y biomasa; y define un arbusto “como una planta, usualmente de 0,2 a 5 m de altura, con tallos leñosos (a veces casi leñosos) y ramas que se extienden o no desde su base. Esta definición incluye plantas leñosas o subleñosas que son monopodiales, la mayoría de las veces no ramificadas, y frecuentemente monocárpicas. Las hojas de estas plantas usualmente se distribuyen a lo largo del tronco principal o bien se concentran en su extremo.”

Los arbustales, rara vez ocupan largas y continuas extensiones; frecuentemente se presentan como islas azonales diseminadas dentro del bosque o del bioma de sabana de la Guayana Venezolana, debido a que la mayoría de éstos se restringen a determinados tipos de sustratos como los afloramientos rocosos, suelos arenosos o turba. La composición y distribución de comunidades de plantas dominadas por arbustos, aparentemente, se correlaciona con condiciones edáficas particulares en mayor grado que los bosques o las sabanas. Otros factores físicos como clima, hidrología y altitud contribuyen a la diferenciación de las unidades de arbustales y según sus características fisionómicas, florísticas y ecológicas pueden agruparse como arbustales macrotérmicos (tierras bajas), submesotérmicos (tierras intermedias) y submicrotérmicos (cima de los tepuyes). Esta diferenciación es usualmente más ordenada en los límites entre los arbustales mesotérmicos y submicrotérmicos que entre los arbustales macrotérmicos y mesotérmicos, siendo en este último caso más difusa (Huber, 1995b).

En el área de estudio, entre los 400 y 1.000-1.200 m de altitud (tierras bajas y tierras intermedias), se encuentra un importante mosaico de arbustales altos, ubicados principalmente en las numerosas y extensas altiplanicies rocosas que rodean la base del Auyán-tepui. Estas comunidades arbustivas, normalmente densas y homogéneas, de 2 a 7 m de altura, crecen casi exclusivamente en las planicies abiertas y en las capas de arenisca inclinadas. Están formadas por arbustos típicamente esclerófilos y árboles bajos. Entre las especies dominantes se encuentran: *Platycarpum rhododactylum* (Rubiaceae), *Terminalia quintalata* (Combretaceae), *Clusia* spp. y *Caraipa* spp. (Clusiaceae), *Dacryodes microcarpa* (Burseraceae), *Licania* spp. (Chrysobalanaceae), *Bonnetia sessilis* y *Ternstroemia pungens* (Theaceae), *Humiria balsamifera* (Humiriaceae), *Blepharandra fimbriata* (Malpighiaceae), *Ruizterania ferruginea* (Vochysiaceae), *Himatanthus articulatos* (Apocynaceae), *Ilex retusa* (Aquifoliaceae), *Emmotum* sp. (Icacinaceae), *Taralea crassifolia* (Fabaceae) y *Vellozia tubiflora* (Velloziaceae). Ocasionalmente *Pakaraimaea dipterocarpacea* (Monotaceae), de gran interés fitogeográfico, se encuentra también en estos arbustales creciendo como un arbusto pequeño y solitario, el cual difiere notablemente de aquellos altos y gregarios, de la misma especie, que crecen en los bosques al Sur de la Gran Sabana (Huber, 1995b).

Otros tipos de arbustales de tierras intermedias, se encuentran frecuentemente entre los 800 y 1.500 m de altitud. Éstos se ubican hacia el Nordeste del área de estudio, creciendo normalmente sobre substratos de areniscas, en forma esparcida. Entre las especies dominantes se tienen: *Euphronia guianensis* (Euphroniaceae), *Bonyunia minor* (Loganiaceae), *Bonnetia sessilis*, *Ternstroemia pungens* y *T. crassifolia* (Theaceae), *Clusia* spp. (Clusiaceae), *Gongylolepis benthamiana* (Asteraceae), *Macairea parvifolia* (Melastomataceae), *Humira balsamifera* y *Vantanea minor* (Humiriaceae), *Ochthocosmus roraimae*, *O. attenuatus* y *Cyrillopsis micrantha* (Ixonanthaceae), *Thibaudia nutans*, *Notopora schomburgkii* y *Befaria sprucei* (Ericaceae), *Spathelia ulei* (Rutaveae) y *Byrsonima concinna* (Malpighiaceae) (Huber, 1995b).

En las tierras altas (meso y submicrotérnicas), los arbustales más importantes se encuentran sobre las cimas de las altiplanicies del Auyán-tepui y del macizo de Chimantá. En el Auyán-tepui los arbustales ocurren entre los 1.600 y 2.400 m de altitud, son relativamente homogéneos y alcanzan de 1 a 3 m de altura. Generalmente crecen sobre suelos orgánicos profundos (Histosoles y turbas). Los arbustos caracterizados por su baja altura y dosel redondeado, pertenecen a las siguientes familias: *Theaceae* (*Bonnetia*), *Rubiaceae* (*Maguireothamnus*, *Pagameopsis*), *Tepuianthaceae* (*Tepuianthus auyantepuiensis*), *Ericaceae* (*Notopora*, *Thibaudia*), *Malpighiaceae* (*Blepharandra hypoleuca*) y *Melastomataceae* (*Macairea*) (Huber, 1995b). Por otra parte, Huber (1992) destaca que el macizo del Chimantá posee probablemente la mayor variedad de formas de vida arbustivas y de otros tipos de vegetación de la Provincia Pantepui. Entre los 1.900 y 2.000 m de altitud se presentan al menos 3 tipos de arbustales fisionómicamente distintos, con numerosas variaciones florísticas locales, en cada una de las diferentes cimas de este macizo. El primero de ellos es el arbustal bajo y denso que crece sobre las laderas y afloramientos rocosos, formado principalmente por *Theaceae*, *Asteraceae*, *Ochnaceae*, *Ericaceae*, *Myrsinaceae* y *Rubiaceae*. El segundo tipo es el arbustal alto paramoide sobre turba, dominado por varias especies endémicas del género *Chimantaea* (*Asteraceae*), especialmente *C. mirabilis*. Este tipo de arbustal presenta notables analogías con ciertos arbustales andinos (páramos), debido a las predominantes formas de

crecimiento caulirrósulas en ambas áreas (*Espeletia sensu lato* en los Andes, *Chimantaea* en el Chimantá); cabe destacar que éste es el único caso donde tal fenómeno de evolución convergente de ecosistemas de alta montaña ha sido observado en las tierras altas de la Guayana Venezolana. El tercer tipo es el arbustal bajo y denso sobre turba, el cual es dominado por *Theaceae* (especialmente *Bonnetia multinervia*), *Melastomataceae* (*Mallophyton chimantense*), *Rubiaceae* (*Aphanocarpus*), *Adenanthè bicarpellata* (*Ochnaceae*) y *Ericaceae* (*Ledothamnus*) (Huber, 1995b).

3.5.3 Formación herbácea

En el Escudo de Guayana, se encuentran varios tipos de comunidades herbáceas dominadas por herbazales de afiliaciones florísticas y apariencias fisionómicas distintas. La alta diversidad fisionómica, ecológica y florística de estos ecosistemas de la Guayana Venezolana requieren de un esquema de clasificación más elaborado y específicamente adaptado que aquéllos relativos a otras áreas. El término herbazal es aquí utilizado para designar colectivamente a cualquier tipo de vegetación herbácea. Ésta, puede ser dividida en dos amplias categorías florísticas distintas: la primera corresponde a los herbazales gramíneos dominados por gramíneas y/o ciperáceas y la segunda a los herbazales no-gramíneos, la cual comprende otras hierbas desprovistas de una morfología gramínea. Los herbazales gramíneos son divididos en dos categorías: la primera incluye a las sabanas, dominadas principalmente por gramíneas con metabolismo C4, limitadas a las tierras bajas tropicales (macrotérmicas) o tierras intermedias inferiores (submesotérmica) (Huber, 1995b).

Las sabanas poseen también elementos leñosos aislados como arbustos, árboles, pequeños bosques o palmas aisladas. El segundo tipo de herbazal gramíneo son las praderas, dominadas esencialmente por gramíneas con metabolismo C3, que se encuentran esporádicamente en localidades altimontanas (mesotérmico y submicrotérmino) de las tierras altas de la Guayana Venezolana, presentando escasez o ausencia de elementos leñosos. Los herbazales no-gramíneos, considerados como los más característicos de la Guayana Venezolana, se dividen en cuatro tipos, distinguiéndose

en su composición florística y estructura fisionómica, a saber: 1) herbazales de hoja ancha, dominados por especies variadas de *Rapateaceae* ampliamente extendidas en las tierras altas de la Guayana y en algunas localidades de las tierras bajas e intermedias; 2) herbazales tubiformes, dominados por hierbas tubiformes de *Bromeliaceae* o *Sarraceniaceae*, presentes en las tierras intermedias y altas de la Guayana; 3) herbazales arrosetados, dominados por hierbas arrosetadas densas de *Xyridaceae* y *Eriocaulaceae*, las cuales son frecuentes en algunas cimas de los tepuyes; y 4) herbazales fruticosos, los cuales presentan un estrato herbáceo mezclado con numerosos subarbustos bajos (Huber, 1995b).

En el área de estudio las sabanas de tierras bajas, se presentan entre los 300 y 600 m de altitud, extendiéndose al Sur y al Oeste del Auyán-tepui, en los valles de Urimán, Kamarata, Cucurital y hacia el Nordeste de Canaima. Estas sabanas poseen una estrato herbáceo denso de 10 a 60-80 cm de altura, formado por *Trachypogon plumosus*, *Axonopus pulcher*, *Panicum olyroides*, *Thrasya sp.*, *Paspalum lanciflorum*, *Echinolaena inflexa* (*Poaceae*), *Scleria cyperina*, *Bulbostylis paradoxa* (*Cyperaceae*) y *Perama hirsuta* (*Rubiaceae*). Existe un interés particular en estas sabanas por la presencia aislada de pequeñas poblaciones de *Monotrema bracteatum* y *Celphalostemon squarrosus* (*Rapateaceae*), las cuales se conocen únicamente en el Amazonas venezolano y en el Norte de Brasil. Se presentan también, muy esporádicamente en este tipo de sabana abierta, algunos arbustos o árboles bajos como *Byrsonima crassifolia* (*Malpighiaceae*), *Palicourea rigida* (*Rubiaceae*) y *Curatella americana* (*Dilleniaceae*). Igualmente, y de manera más o menos extensiva, la palma moriche (*Mauritia flexuosa*) se encuentra típicamente a lo largo de los cursos de agua y en pequeñas depresiones (Huber, 1995b).

En las Sabanas de tierras intermedias del área de estudio, entre 750 y 1.300 m de altitud, existen dos tipos de sabanas. La primera de ellas es la sabana abierta inarbolada, ubicada hacia el Este del Sector Occidental del Parque Nacional Canaima. Posee un estrato herbáceo de densidad variable, superior a 1 m de altura dominado por *Axonopus pruinosos*, *A. kaietukensis*, *Trachypogon plumosus*, *Echinolaena inflexa* y *Leptocoryphium lanatum*, y por las ciperáceas más comunes como *Bulbostylis paradoxa*, *Rhynchospora*

globosa, *Hypolytrum pulchrum* y *Scleria cyperina*. Se encuentran también ocasionalmente *Buchnera weberbaueri* (*Scrophulariaceae*), *Polygala* spp. (*Polygalaceae*) y *Sisyrinchium vaginatum* (*Iridaceae*). En este tipo de sabanas los elementos leñosos son muy escasos y generalmente bajos como *Palicourea rigida* (*Rubiaceae*), *Byrsonima verbascifolia* (*Malpighiaceae*), o pequeñas plantas de *Eugenia puniceifolia* (*Myrtaceae*) o *Casearia sylvestris* var. *lingua* (*Flacourtiaceae*). El segundo tipo, sabanas con palmas, crece hacia el Sudeste del área de estudio, en el valle del Río Karuay, entre 750 y 1.000 m de altitud. Estas sabanas, inundadas estacionalmente, están formadas por un estrato gramíneo denso de 1,5 a 2 m de altura y presentan extensas alineaciones de palma moriche (*Mauritia flexuosa*) diseminadas. El estrato herbáceo, rico en especies, es dominado por (*Hypogynium virgatum*, *Andropogon* spp., *Panicum* spp.), ciperáceas (principalmente especies variadas de *Rhynchospora* y *Bulbostylis*), y otras como *Byttneria genistella* y *Waltheria* sp. (*Sterculiaceae*), *Eriocaulon* sp. (*Eriocaulaceae*), *Xyris* spp. (*Xyridaceae*) o *Phyllanthus* spp. (*Euphorbiaceae*). También ocurren arbustos bajos como *Miconia stephananthera* (*Melastomataceae*), *Mahurea exstipulata* (*Clusiaceae*) o endémicas como *Piper sabanaense* y *P. tamayoanum* (*Piperaceae*) aun cuando estos se encuentran restringidos al interior de las grandes extensiones de colonias de palma moriche (Huber, 1995b).

Las gramíneas altotepuyanas son muy escasas en la Guayana Venezolana, sin embargo, en algunos casos, éstas forman importantes ecosistemas geográficamente restringidos dentro del paisaje de los altos tepuyes. Existen condiciones particulares donde las formas de vida gramíneas son exitosas y aún dominantes como las áreas de turba inundadas, localizadas generalmente en los fondos de amplios valles de los grandes macizos tepuyanos. Dentro del área de estudio estas gramíneas se localizan en el Auyán-tepui, entre 1.600 y 1.800 m de altitud, y en el macizo del Chimantá, a 2.200 m de altitud. Son dominadas generalmente por *Cortaderia roraimensis*, la cual forma densas colonias en áreas inundadas, próximos a los cursos de agua y está acompañada frecuentemente por pequeñas colonias de *Aulonemia* sp. (*Poaceae*, *Bambusoideae*) o de *Cladium costatum* y *Rhynchocladium steyermarkii* (*Cyperaceae*) (Huber, 1995b).

La mayoría de los herbazales de las tierras intermedias y altas de la Guayana Venezolana se caracterizan por presentar una o más especies de *Rapateaceae*. Las *rapateaceas*, en los herbazales montanos, han alcanzado un alto grado de diferenciación, lo cual se evidencia en el género *Stegolepis*, considerado como el elemento florístico más característico de este bioma en la Región Guayana. De las 31 especies de *Stegolepis*, reconocidas en la flora de la Guayana Venezolana, al menos 17 de ellas son predominantes en los herbazales altotepuyanos. Además, cuatro géneros de *Rapateaceae* (*Amphiphyllum*, *Kunhardtia*, *Marahuacaea* y *Phelpsiella*), son endémicos de la Guayana Venezolana (Huber, 1995b). Estas especies de *Rapateaceae*, dada su clara diferenciación altitudinal, proporcionan uno de los más importantes criterios florísticos para distinguir los herbazales de las tierras bajas, de los de las tierras altas e intermedias de la Guayana Venezolana (Huber, 1987).

En el flanco Noroeste del Auyán-tepui, entre los 1.600 y 1.900 m de altitud, sobre una turba profunda, existe un herbazal denso de hoja ancha con *Stegolepis humilis* (*Rapateaceae*), la cual forma grandes colonias con *Cladium costatum* (*Cyperaceae*) y muchas otras especies herbáceas de *Cyperaceae*, *Xyridaceae* y *Eriocaulaceae*. Se encuentran también arbustales bajos dominados por *Rubiaceae*, *Ericaceae* y *Melastomataceae*. En las extensas y rocosas altiplanicies de los flancos Sur y Este del Auyán-tepui, entre 1.800 y 2.400 m de latitud, se encuentran de manera dispersa numerosas pequeñas islas de vegetación mixta (herbácea y arbustiva), dominadas por herbazales arrosetados como *Orectanthe sceptrum* (*Xyridaceae*) y algunas especies de *Eriocaulaceae* (Huber, 1995b).

En las cimas de las altiplanicies interiores del macizo del Chimantá se encuentra una gran variedad de tipos de vegetación herbácea (Huber 1992), ampliamente dominada por *Stegolepis ligulata* (*Rapateaceae*), especie endémica de hoja estrecha. También se consigue un amplio rango de comunidades de plantas desde casi monoespecíficas y herbazales relativamente abiertos sobre arenas superficiales que suprayacen a las areniscas desnudas, hasta herbazales arbustivos, extremadamente densos y ricos en especies que crecen en la turba profunda. Las hierbas más importantes pertenecen a *Cyperaceae*, *Xyridaceae*, *Eriocaulaceae*, *Bromeliaceae*, *Sarraceniaceae*, *Orchidaceae*,

Iridaceae, *Liliaceae* y *Lentibulariaceae*; acompañadas por arbustos y subarbustos como *Theaceae*, *Ericaceae*, *Melastomataceae*, *Asteraceae*, *Ochnaceae*, *Rubiaceae* y *Santalaceae* (Huber, 1995b).

La vegetación herbácea en la cima de los tepuyes del macizo de los Testigos, de forma general, está compuesta por herbazales arrosetados con presencia de arbustos bajos y subarbustos. Entre los arbustos más resaltantes se encuentra una forma reducida de *Chimantaea lanocaulis* (*Asteraceae*), en la cima del Murisipán-tepui. Sobre superficies rocosas, en pequeños parches de herbazales, se encuentran especies de *Stegolepis*, *S. humilis* y en áreas pobremente drenadas crecen colonias mayores de *Brocchinia tatei* (*Bromeliaceae*) (Huber, 1995b).

3.5.4 Formaciones pioneras

Esta formación vegetal es típica de las superficies rocosas abiertas y comprende a las especies colonizadoras de este tipo de hábitats. La mayoría de estas especies no son plantas vasculares, sino organismos de estructura más simple como algas, hongos y líquenes. También se incluyen aquí algunas comunidades de plantas superiores aisladas que, en las fases colonizadoras, ocupan nichos sucesionales avanzados y además, han desplazado las formas de vida talosas o criptogámicas, como hierbas o subarbustos altamente especializados que no pueden ser catalogados dentro de los herbazales o arbustales (Huber, 1995b).

En el área de estudio predominan comunidades pioneras sobre sustratos rocosos abiertos de las tierras altas como en el macizo Los Testigos, Aprada-tepui, los flancos orientales del Auyán-tepui y en algunas cimas del macizo del Chimantá. Según Ahti (1992), las primeras colonizadoras de los afloramientos rocosos de las tierras altas de la Guayana son las *cyanobacterias* como *Stigonema*, responsables por el color negro característicos de las superficies rocosas abiertas, así como una variedad de líquenes crustáceos y fruticosos como *Siphula*, *Caloplaca*, *Xanthoparmelia* y *Usnea*, particularmente abundantes en el macizo del Chimantá. Entre las plantas vasculares, las colonizadoras más importantes son las especies de *Bromeliaceae*, presentando muchas especies endémicas de *Lindmania*,

Navia y *Brocchinia*. Sobre el macizo del Chimantá se tienen especies de *Lindmania* como *L. subsimplex*, formando densas y extensas alfombras sobre las superficies rocosas planas (Huber, 1995b).

3.5.5 Niveles de endemismo

La Guayana Venezolana constituye una de las regiones de más alta endemidad de la parte Norte de Sudamérica, en cuanto a la flora se refiere. De un total de 9.411 especies conocidas, 2.136 (22.7%) son endémicas para esta región (Cuadro 3.1). Si consideramos al Escudo Guayanés el número de especies restringidas alcanza las 3.763 especies (40%). Asimismo, existen 1.786 géneros conocidos, de los cuales 34 (1,9%) son endémicos para la Guayana Venezolana y 118 (6,6%) lo son para el Escudo de Guayana (Berry *et al.*, 1995).

CUADRO 3.1 . Niveles de endemismo en la Guayana Venezolana.

	Nº Total de Taxa	Taxa Endémicos para la Guayana Venezolana	Taxa Endémicos para el Escudo de Guayana
Familias	230	0	4
Géneros	1786	34 (1,9%)	118 (6,6%)
Especies	9411	2136 (22,7%)	3763 (40,0%)

Fuente: Berry et al. (1995).

La flora de la Provincia Pantepui de la Guayana Venezolana (casi la totalidad de esta Provincia se encuentra en Venezuela), la cual comprende todas aquellas áreas del Escudo de Guayana superiores a los 1.500 m de altitud, posee un total de 2.322 especies y 630 géneros (cuadro 3.2), de las cuales 766 especies (33%) y 23 géneros (3,7%) son endémicos de esta región; 1088 especies (46,9%) y 29 géneros (4,6%) de la Provincia Pantepui Venezolana están restringidos para la Guayana Venezolana y 1.517 especies (65,3%) y 85 géneros (13,5%) lo están para el Escudo de Guayana. Finalmente 23 géneros, de los 34 que son endémicos para la Guayana Venezolana, se encuentran solamente en la Provincia Pantepui Venezolana, lo que representa, considerando el tamaño reducido de esta región (aproximadamente 5.000 km²), una notable concentración de taxa endémicos (Berry *et al.*, 1995).

CUADRO 3.2. Número de Taxa de la Provincia Pantepui en la Guayana Venezolana.

	Taxa Presentes en la Provincia Pantepui	Taxa Endémicos para la Provincia Pantepui	Taxa Endémicos para la Guayana Venezolana	Taxa Endémicos para el Escudo de Guayana
Familias	158	1	0	4
Géneros	630	23 (3,7%)	29 (4,6%)	85 (13,5%)
Especies	2322	766 (33,0%)	1088 (46,9%)	1517 (65,3%)

Fuente: Berry et al. (1995).

3.6 La comunidad Pemón habitante del Parque Nacional Canaima

Venezuela ha sido poblada paulatinamente por aborígenes de otras latitudes pertenecientes, principalmente, a la gran familia Caribe. De acuerdo a hallazgos arqueológicos se ha podido establecer que el área del Parque Nacional Canaima estuvo ocupada desde épocas remotas por los Caribes, los cuales dejaron evidencias de su cultura en tallados de rocas y en artefactos, que datan de 5.000 a 7.000 años a.C. Este poblamiento tuvo lugar en el territorio venezolano y en la región de Guayana en cuatro grupos sucesivos, de los cuales algunos autores infieren que el primero de ellos fue el de la etnia Pemón, que actualmente habitan la porción Sudeste del Estado Bolívar (donde se inserta el Parque Nacional Canaima) y las áreas vecinas de las Repúblicas de Guyana y Brasil (CONAHOTU, 1972). Según el INE (2011), los Pemón constituyen, actualmente, el tercer grupo indígena numéricamente más importante del país.

La palabra “Pemón” quiere decir gente y el término es usado por este grupo étnico para distinguirse de los criollos y de otros grupos indígenas. Los Pemón, se ubican en toda la cuenca del Río Caroní, aguas arribas de San Pedro de las Bocas, esto incluye los Ríos Karrao, Urimán, Tírika, Icabarú, Kukenán y sus afluentes (Yuruaní, Uairén y Arabopo); también se ubican en la cuenca del Río Karún y su afluente el Río Antabari, el Valle del Paragua, las riberas del Río Oris y el Río Paragua, aguas abajo del Salto Uraima. Hacia el este ocupan la parte alta de los Ríos Kamarang y Venamo y el Valle del Río Cuyuní, cerca de la localidad de El Dorado (Thomas, 1983).

Los Pemón se dividen en tres subgrupos dialectales, mutuamente inteligibles: Los Arekuna, Kamarakoto y Taruepan. Si bien es difícil establecer delimitaciones geográficas precisas de estos subgrupos, se puede afirmar que los Arekuna se concentran en la zona norte del territorio Pemón; los Kamarakoto en las zonas de Kamarata y Urimán; y los Taruepán al Sur de una línea trazada en dirección este-oeste, sobre la boca del Río Maurak, afluente del Karuay (Thomas, 1983).

Según el INE (2011), la población total del grupo indígena Pemón alcanza a 30.148 personas, lo cual representa el 4,10 % de la población indígena total nacional y el 3,7 % de la población total del estado Bolívar. La estructura de la población indígena Pemón por sexo indica que el 51.01 % pertenece al sexo masculino y el 48.99 % al sexo femenino, lo cual podría indicar que los sexos masculino y femenino de la etnia Pemón presentan estabilidad en cuanto a la movilidad de la población se refiere. La estructura de la población indígena Pemón por edad indica que el 76.88 % de la población es menor de 29 años, destacando el grupo de edades entre 0 y 14 años, el cual agrupa el 50.17 % de la población Pemón.

3.6.1 Patrón de asentamiento y tenencia de la tierra

El área habitada por la etnia Pemón en el Parque Nacional Canaima comprende, esencialmente, dos zonas ecológicas: La zona de sabana, al este, donde se encuentra asentada la mayor parte de la población y la zona de selva pluvial, al oeste. En ambas zonas el patrón de asentamiento es relativamente uniforme, caracterizado por pequeños asentamientos dispersos. La disposición de las viviendas de las diferentes comunidades indígenas del área de estudio puede ser de tres tipos: casas agrupadas, es decir las viviendas de la comunidad se concentran en un sitio determinado; casas dispersas, las viviendas de la comunidad no se concentran en un sitio determinado sino que se ubican separadamente en una sabana, a lo largo de un río, camino o vialidad; y vivienda comunal, la cual se caracteriza por agrupar a todos los miembros de una comunidad en una misma vivienda (Thomas, 1983 y GIMPAFU, 2015).

El número de habitantes en un asentamiento Pemón varía entre 7 y 50 personas y puede estar constituido por uno o más núcleos familiares. Cada vivienda comunal se compone de un grupo habitacional separado y cada asentamiento, como máximo, consta de seis grupos habitacionales, cuyos miembros mantienen lazos consanguíneos y afines. Existen asentamientos mayores, sin embargo éstos son el resultado de la influencia de misiones religiosas capuchinas o adventistas, la actividad turística y la actividad minera; pues la idea de pueblo o aldea, según algunos estudiosos del tema, no es propia de la etnia Pemón (Thomas, 1983). Es el caso de la comunidad indígena “Las Malocas”, en el poblado de Laguna de Canaima, cuyo establecimiento se debe a la llegada de indígenas provenientes de otras comunidades aledañas, estimulados por el crecimiento de la actividad turística en este sector. O bien, la comunidad indígena de Kamarata, donde se fundó la misión religiosa de Kamarata por los padres capuchinos o la de Urimán, influenciada desde sus inicios por la actividad minera (GIMPAFU, 2015).

Cabe resaltar que los asentamientos Pemón se distribuyen, principalmente, próximos a los cursos de agua y relativamente cercanos al bosque, donde establecen sus cultivos, prefiriendo siempre la sabana como lugar para establecer sus viviendas (Figura 1.2) (GIMPAFU, 2015).

3.6.2 Tendencias demográficas

Se estima que para 1937 la población Pemón venezolana alcanzaba la cifra de 1.600 personas, aun cuando esta cifra es conservadora, la misma se basa en la sumatoria de la población censada por Matallana (1937) y Simpson (1940) asentada en el área de la Gran Sabana. Para 1949, la población Pemón se estimó en 2.500 personas y para 1970 el área Pemón alcanzaba unos 4.000 habitantes (Thomas, 1983). Asimismo, los datos más recientes acerca de la población indígena, según los Censos Indígenas en Venezuela, muestran que la tasa de crecimiento (geométrico) de la población Pemón, entre 2001 y 2011, es de 1,05 %; con 18.871 personas en 1992 (OCEI, 1995), 27.157 personas en 2001 (OCEI, 2001) y 30.148 personas en 2011 (INE, 2011).

3.6.3 Actividades de subsistencia

La subsistencia de los Pemón se fundamenta en la agricultura de tala y quema (conucos), la caza, la pesca y la recolección, aunque algunas comunidades se benefician del turismo. Los principales cultivos registrados en el área de estudio son los siguientes: la yuca amarga (hasta 10 variedades), el ají y la aurosa, los cuales conforman la base principal de la dieta diaria; además del mapuey, ocumo, batata, cambur (hasta 10 variedades), plátano, piña y caña de azúcar, estos últimos considerados cultivos secundarios, y el algodón utilizado junto con la palma de moriche para el tejido, confección de hamacas, tirantes para cargar a los infantes, bolsos y tobilleras, entre otros (Thomas, 1983 y GIMPAFU, 2017b).

Las quemas se consideran también una práctica de subsistencia, pues a través de ellas los indígenas de la etnia Pemón, además de preparar la tierra para la agricultura, han establecido un medio de comunicación con las comunidades vecinas. De esta manera es posible transmitir señales de emergencias, avisos como la vuelta de la cacería, anunciar el abandono de la vivienda o la visita a un familiar. Además, las quemas son utilizadas para desmonte de la vegetación natural, lo cual mantiene alejados animales peligrosos, mantener la altura de las sabanas a un nivel tal que no afecte sus actividades y para la caza de animales, entre otros (Rodríguez (2007); Rodríguez *et al.* (2013); GIMPAFU, 2015).

Las prácticas agrícolas por parte de la población indígena se circunscriben al bioma bosque y la escogencia del lugar dónde establecer los conucos obedece a razones prácticas. Éstas se refieren básicamente a condiciones tales como: cercanía a la vivienda (no más de una hora u hora y media de ésta), áreas bien drenadas y con pocas raíces y próximas a los cursos de agua. Los nuevos conucos se ubican, comúnmente, en los linderos de una parcela ya cultivada; estas parcelas tienen una superficie promedio de 4.600 m², suficiente para sostener, aproximadamente durante un año, a un grupo habitacional constituido por trece (13) miembros (Thomas, 1983 y GIMPAFU, 2017b).

3.6.4 Hábitos, costumbres, tradiciones y cambios socioculturales

En lo que se refiere a la alimentación de los Pemón, ésta es considerada por varios autores como deficiente y poco balanceada, basándose en productos ricos en carbohidratos como la yuca y el maíz. La proteína animal producto de la caza y de la pesca es deficitaria, pues es ingerida esporádicamente, siendo complementada con pollo y pescado por algunas familias indígenas que tienen acceso a los comercios de Santa Elena del Uairén y otros poblados. Con dichos ingredientes elaboran *töma*, un tipo de sopa que es el alimento principal, acompañada con casabe. El alimento dominante en la ingesta diaria es la yuca, consumida en forma de casabe, harina y cumache, este último se prepara con el líquido extraído de la yuca (*yare*). También se destaca el uso del ají y de la sal, imprescindibles en los alimentos preparados y la elaboración de bebidas fermentadas, ricas en almidón, preparadas a base de yuca, maíz u otros vegetales. Una de estas bebidas es el “Kachiri”, ingerida abundantemente en ocasiones festivas (CONAHOTU, 1972 y GIMPAFU, 2017a).

Las manualidades y artesanías constituyen una de las expresiones más resaltantes de la cultura Pemón, entre las más típicas se tiene: el tejido de fibras, la cestería, la fabricación de arcos, flechas y la alfarería. Además de importantes manifestaciones folklóricas como las danzas típicas, entre las más regulares: el “tucui”, el “parichara”, el “marik” y el “areruya chochima”, entre otras y la celebración de rituales para conmemorar ciertos acontecimientos como la preñez y el nacimiento ((CONAHOTU, 1972 y GIMPAFU, 2017a).

La vivienda tradicional Pemón es construida, frecuentemente, con paredes de barro, corteza de árboles o de paja y techo de palma, tiene forma oblongada o elíptica y redonda. Para la construcción del techo se utiliza tres tipos de plantas: las hojas de la palma moriche (*Mauritia flexuosa*), la palma *kunwada* (*Oenocarpus sp.*) y hojas de la *waramiya* (Thomas, 1983).

En cuanto a la organización política, en la sociedad Pemón no existe status político diferente al de “Capitán” o “Cacique”, quien viene a ser un líder regional con ciertos poderes para dirigir los asuntos de su comunidad. Es, esencialmente, el representante del

grupo regional ante otros grupos regionales indígenas o criollos. Entre los capitanes de las diferentes regiones no existe jerarquía definida y éstos ejercen influencia sólo hasta donde su prestigio personal se imponga (GIMPAFU, 2015).

La población criolla representa para los Pemón un fenómeno que éstos han acogido como parte de sus vidas en los últimos 200 años. Son los proveedores y fabricantes de los utensilios que paulatinamente han incorporado a sus necesidades, pero que ellos mismos no pueden producir. Desde 1945 comenzó a acentuarse el amplio contacto de los Pemón con los misioneros, los mineros y los turistas, provenientes no sólo del territorio nacional, sino también de otros países. Este contacto proporciona al indígena un medio para la obtención de dinero, bien sea en labores dentro de las misiones, en las minas o como trabajador de las empresas turísticas, lo cual le permite tener acceso a los artículos de la cultura material criolla. Por otro lado, estas influencias exógenas han provocado variaciones en el patrón de asentamiento de la población indígena, siempre orientadas a sedentarizar y concentrar la población. (Thomas, 1983; Sharpe y Rodríguez, 1997; Flantua *et al.*, 2013).

Si bien es cierto que este tipo de patrón de asentamiento le facilita a la población Pemón la interacción con la población criolla, la educación y la asistencia sanitaria, que son bastante limitadas; las relaciones sociales y económicas entre éstos y los foráneos han ocasionados algunos problemas, creándoles dependencia en la adquisición de alimentos y materiales requeridos para satisfacer las nuevas necesidades adquiridas, tales como el uso de herramientas e instrumentos para la agricultura y cacería, vestimenta y ciertos alimentos y bebidas que no cubren sus necesidades alimentarias, llegando inclusive, en algunos casos, al endeudamiento con los proveedores). Por otro lado, el poder de los “Capitanes” o “Caciques”, se encuentra actualmente limitado, pues las decisiones importantes acerca de cómo, dónde y en qué utilizar los recursos y beneficios provenientes del Estado, o bien aquellos generados por el cobro de tarifas a los turistas, se realizan sin la consulta a éstos ni a los miembros de las comunidades indígenas (GIMPAFU, 2015).

Actualmente, los Pemón se emplean en los diferentes sectores de la economía. En el sector primario se destaca la actividad agrícola de subsistencia, la caza y la pesca, las cuales realizan conjuntamente con otras actividades y en menor proporción la actividad minera artesanal. En el sector secundario, realizan actividades relacionadas con la construcción de sus propias viviendas y de otros miembros de las comunidades indígenas y la manufactura de artesanía para el consumo propio y para la venta a los turistas. El sector terciario agrupa a las personas dedicadas a actividades de salud, educación y paramédicas, así como la rama del comercio constituida por pequeñas bodegas, posadas y restaurantes. Finalmente, el sector turístico emplea gran cantidad de personas en sus instalaciones: campamentos, hoteles, restaurantes, operadoras turísticas, transporte turístico, entre otros (Gobernación del Estado Bolívar, 1996 y GIMPAFU, 2015). Existen, incluso, algunos pequeños empresarios turísticos indígenas que ofrecen a los visitantes del Parque, servicio de restaurante y posadas.

A diferencia de otros grupos indígenas del Estado Bolívar, los Pemón, habitantes del Parque Nacional Canaima, han modificado sus hábitos y costumbres tradicionales como la vestimenta y las expresiones culturales autóctonas como las danzas y cantos rituales, adoptando progresivamente la de los criollos. Sin embargo, este proceso no se ha llevado a cabo totalmente, todavía se conservan algunas manifestaciones culturales con cierta regularidad y con el mismo atuendo típico. Siendo, eso sí, más común en la población adulta que en las nuevas generaciones (CONAHOTU, 1972 y GIMPAFU, 2015).

CAPÍTULO IV

ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS Y ESTIMACIONES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

4.1 Material

4.1.1 Definición del período de estudio

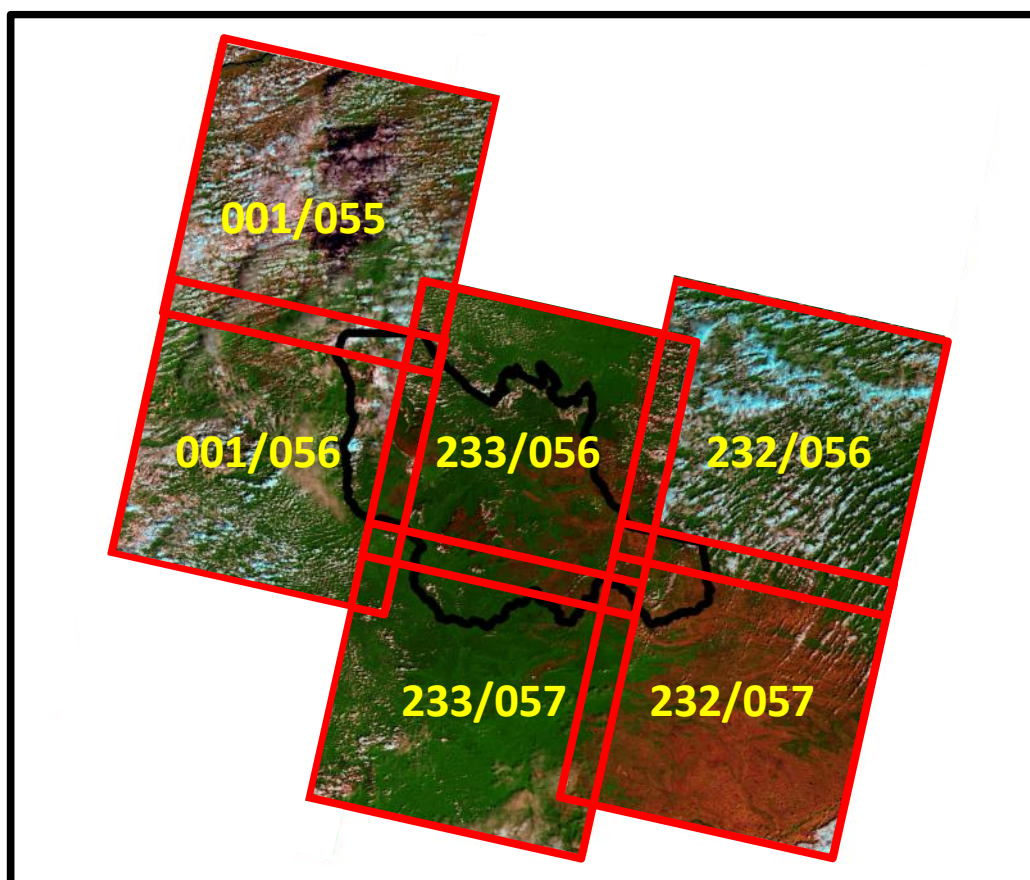
El período de estudio de la presente investigación comprende parte del período seco extendido en Venezuela ocurrido entre los años 2013 y 2016, específicamente los meses de noviembre y diciembre del año 2014, todo el año 2015 y de enero a septiembre de 2016. Estos meses fueron agrupados en dos períodos consecutivos que incluyen, cada uno de ellos, la presencia de un periodo seco, que coincide con el período de quemas en el Parque Nacional Canaima, entre noviembre y abril; y otro cálido lluvioso, entre mayo y octubre. De esta forma, el período de estudio de esta investigación fue establecido en dos períodos independientes, los cuales serán referidos de ahora en adelante como: **2015** (entre noviembre de 2014 y octubre de 2015); y **2016** (entre noviembre de 2015 y septiembre de 2016).

Es importante destacar que durante los meses de marzo y abril de 2015 y el mes de febrero de 2016 no fue posible cuantificar el total de áreas quemadas, ello debido a la alta incidencia de nubosidad que impide a los sensores ópticos de mediana resolución temporal (como el Landsat-8/OLI) obtener información de la superficie terrestre. Sin embargo, aun cuando esta condición afecta las estadísticas mensuales de la actividad del fuego, esta carencia de información se minimiza en la sumatoria total anual de la superficie quemada, puesto que las áreas quemadas que no pudieron ser identificadas en una fecha determinada podrían identificarse en fechas posteriores, considerando el tiempo de permanencia de las cicatrices del fuego.

4.1.2 Productos Orbitales

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron imágenes del satélite Landsat-8/OLI, en composición color verdadero (R5G4B3) de las bandas 3 (0,63-0,69 μm), 4 (0,76-0,90 μm) y 5 (1,55-1,75 μm), con una resolución espacial de 30 m. Para cubrir toda el área de estudio, fue necesario elaborar un mosaico compuesto de seis (06) escenas (órbitas/punto: 001/055, 001/056, 233/056, 233/057, 232/056 y 232/057) para cada una de las 42 quincenas que comprenden el período de estudio, con una frecuencia de revisita del satélite (resolución temporal) de 16 días; para un total de 252 imágenes satelitales procesadas (Figura 4.1 y Cuadro 4.1).

FIGURA 4.1. Órbita/Punto de las imágenes Landsat-8/OLI utilizadas en la detección y cuantificación de las áreas quemadas en el Parque Nacional Canaima.



Fuente: Elaboración propia. Con base al índice de cubrimiento de las imágenes Landsat-8/OLI (USGS, 2017).

CUADRO 4.1. Listado de mosaicos de imágenes Landsat-8/OLI utilizadas en la detección y cuantificación de las áreas quemadas en el Parque Nacional Canaima.

Número	Año	Mes	Quincenas	Fecha de Adquisición de la Imagen Landsat
1	2014	Noviembre	Noviembre	02/11/2014
2			Noviembre	18/11/2014
3		Diciembre	Diciembre	04/12/2014
4			Diciembre	20/12/2014
5	2015	Enero	Enero	05/01/2015
6			Enero	21/01/2015
7		Febrero	Febrero	06/02/2015
8			Febrero	22/02/2015
9		Marzo	Marzo	10/03/2015
10			Marzo	26/03/2015
11		Abril	Abril	11/04/2015
12			Abril	27/04/2015
13		Mayo	Mayo	13/05/2015
14			Mayo	29/05/2015
15		Junio	Junio	14/06/2015
16			Junio	30/06/2015
17		Julio	Julio	16/07/2015
18		Agosto	Agosto	01/08/2015
19			Agosto	17/08/2015
20		Septiembre	Septiembre	02/09/2015
21			Septiembre	18/09/2015
22		Octubre	Octubre	04/10/2015
23			Octubre	20/10/2015
24		Noviembre	Noviembre	05/11/2015
25			Noviembre	21/11/2015
26		Diciembre	Diciembre	07/12/2015
27			Diciembre	23/12/2015
28	2016	Enero	Enero	08/01/2016
29			Enero	24/01/2016
30		Febrero	Febrero	09/02/2016
31			Febrero	25/02/2016
32		Marzo	Marzo	12/03/2016
33			Marzo	28/03/2016
34		Abril	Abril	13/04/2016
35			Abril	29/04/2016
36		Mayo	Mayo	15/05/2016
37			Mayo	31/05/2016
38		Junio	Junio	16/06/2016
39		Julio	Julio	02/07/2016
40			Julio	18/07/2016
41		Agosto	Agosto	03/08/2016
42		Agosto	Agosto	19/08/2016

4.1.3 Aplicaciones computacionales

El procesamiento, interpretación y clasificación tanto del mapa de vegetación como de las 252 imágenes satelitales utilizadas en el presente trabajo, se realizaron en un microcomputador con procesador i3, 1,66 Ghz y 4 Mb de memoria RAM. Para tal fin, se utilizaron las aplicaciones QGIS (versión 2.18.3) y ArcGis (versión 10.2.1).

4.2 Metodología

En este aparte se presentan los procedimientos metodológicos utilizados en el desarrollo del trabajo de investigación. El estudio fue dividido en cuatro fases consecutivas detalladas a seguir.

4.2.1 Selección de las imágenes satelitales (Fase 1)

Las imágenes Landsat-8/OLI utilizadas en la detección y cuantificación de las áreas quemadas fueron seleccionadas y descargadas desde la plataforma de distribución gratuita del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2017), de acuerdo a su disponibilidad. Cabe destacar que el área de estudio está comprendida por 6 imágenes Landsat-8/OLI de diferentes órbitas/punto (Figura 4.1), por lo cual fue necesario descargar un total de 252 imágenes, es decir 6 imágenes para cada una de las 42 quincenas del período de estudio (Cuadro 4.1 y Anexo A). Una vez descargadas todas las imágenes, se procedió a la generación de los respectivos mosaicos para cada una de las 42 quincenas.

Las imágenes Landsat-8/OLI obtenidas presentan un nivel de procesamiento del tipo L1T, el cual se corresponde con imágenes corregidas radiométricamente mediante el cálculo de la reflectividad de superficie terrestre; y geométricamente, utilizando puntos de control terrestre, en una proyección cartográfica referenciada al datum WGS84. Adicionalmente los datos también contienen una corrección topográfica por el desplazamiento del terreno debido al relieve.

4.2.2 Creación de la base de datos y procesamiento de los datos orbitales (Fase 2)

Para la realización de este estudio se creó una base de datos georreferenciada utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), en el cual se almacenaron los datos de las

imágenes del satélite Landsat-8/OLI, así como la interpretación de las áreas quemadas, el mapa de vegetación y los productos resultantes del geoprocesamiento de la información (álgebra de mapas).

La escala de trabajo adoptada para el levantamiento del área quemada corresponde a 1:100.000, determinada con base en la escala de levantamiento de la información temática y de la resolución espacial de las bandas 4, 5 y 7 del sensor Landsat-8/OLI (30 m), considerando un error cuadrático medio de geo-posicionamiento de hasta 30 m en las referidas imágenes. Cabe destacar que la detección visual de las cicatrices del fuego presentes en las imágenes satelitales se realizó a una escala equivalente a 1:50.000, a fin de alcanzar la máxima precisión en el levantamiento visual de los polígonos de áreas quemadas.

4.2.3 Detección de las áreas quemadas (Fase 3)

4.2.3.1 Interpretación visual de las áreas quemadas

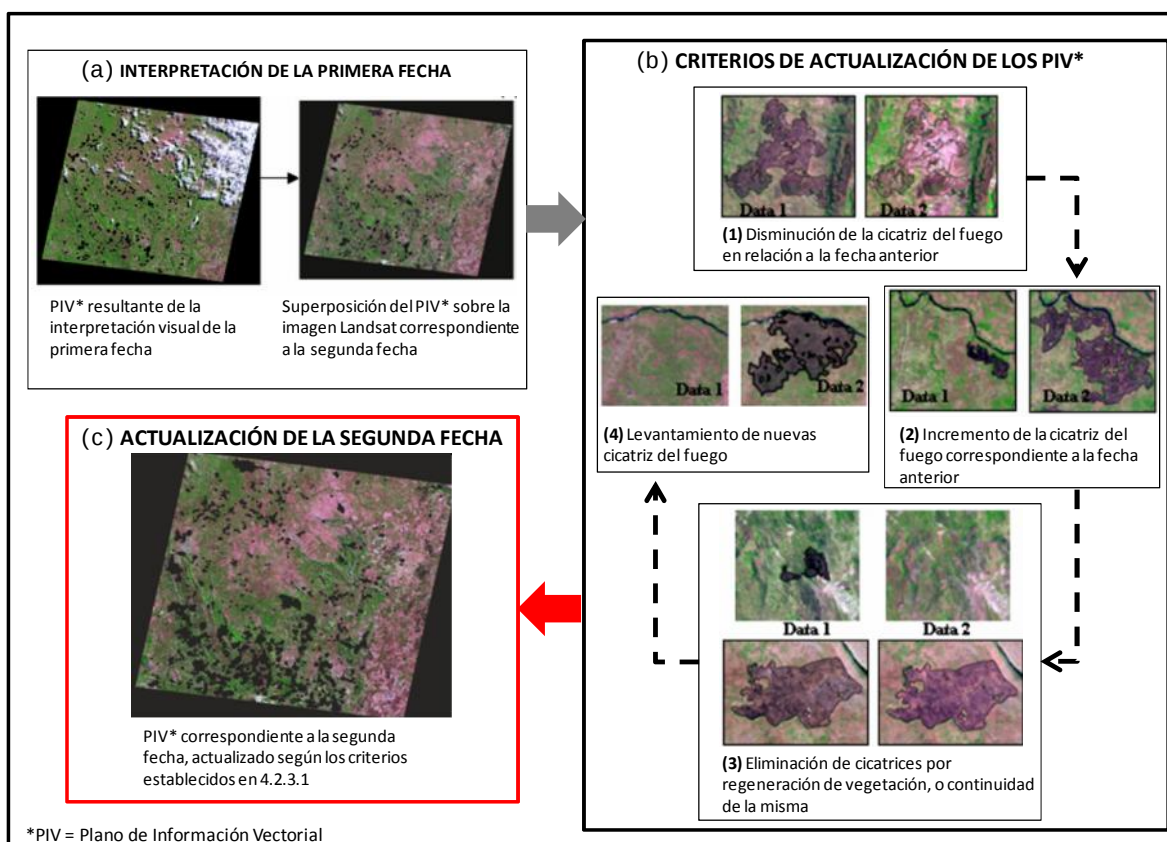
La detección y cuantificación de las áreas quemadas se realizó mediante la interpretación visual de las cicatrices dejadas por el fuego, visibles en las 252 imágenes Landsat-8/OLI utilizadas. El uso de la interpretación visual como procedimiento para identificar las cicatrices del fuego fue considerado el más adecuado, una vez que los procedimientos de clasificación digital automatizados confunden patrones espectrales semejantes, como los que presentan las cicatrices del fuego y otros elementos contenidos en las imágenes, tales como cuerpos de agua y sombras de nubes o de accidentes orográficos. En este sentido, la detección de áreas quemadas utilizando procedimientos automáticos genera clasificaciones de las imágenes Landsat-8/OLI menos exactas que aquellas resultantes del análisis visual. Los procedimientos utilizados para la detección de las áreas quemadas se ilustran en la Figura 4.2 y se detallan a seguir.

Inicialmente, se realizó la interpretación visual de las imágenes Landsat-8/OLI referentes a la primera fecha del período investigado (quincena 1, octubre de 2014) que comprenden el PNC y se detectaron todas las cicatrices del fuego que pudieron ser discriminadas a escala de 1:50.000 (área mínima de mapeo igual a $0,02 \text{ km}^2$ para una resolución espacial de 30 m). A partir de este procedimiento de interpretación se generaron planos de

información vectorial (PIV) conteniendo la delimitación de las cicatrices del fuego, discriminadas en las imágenes correspondiente a esta primera fecha.

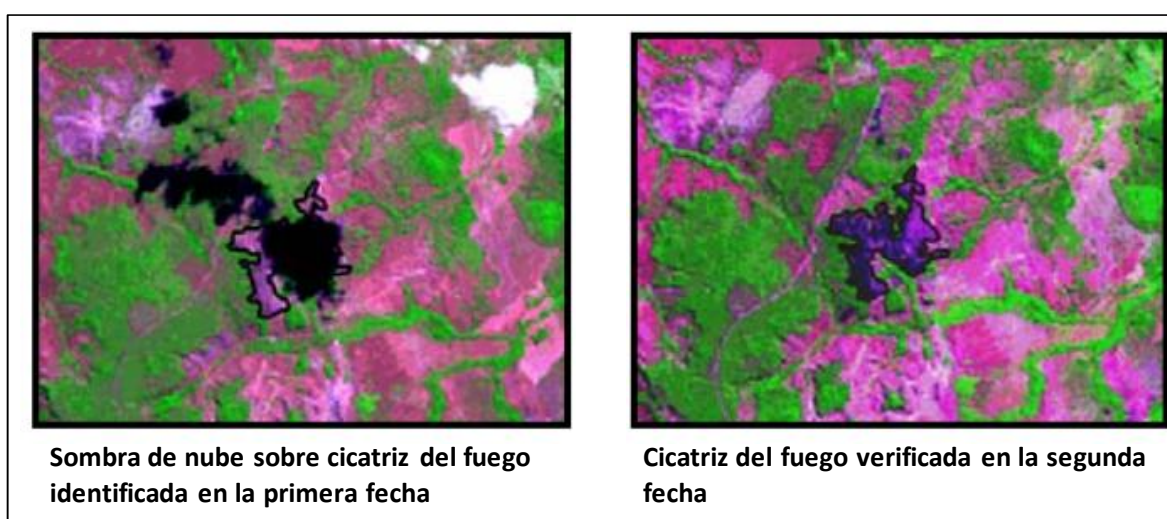
Posteriormente, este primer PIV generado fue superpuesto a la imagen Landsat-8/OLI correspondiente a la segunda fecha y, en función de los cambios espectro-texturales observados en las cicatrices del fuego se procedió a la alteración o eliminación de los polígonos de áreas quemadas (de ahora en adelante referidos como polígonos de quemas) identificados en la primera fecha, o a la inclusión de nuevos polígonos, aplicando uno de los siguientes criterios: (a) disminución del área del polígono de quema con respecto a la fecha anterior, resultante del proceso regenerativo de la vegetación natural previamente afectada por la acción del fuego; (b) incremento del área del polígono de quema con relación a la fecha anterior, como consecuencia de la ocurrencia de nuevas quemas contiguas a las cicatrices del fuego ya existentes; (c) eliminación del polígono de quema, cuando la cicatriz del fuego dejó de ser visible en la imagen, debido a la regeneración total de la vegetación natural previamente afectada por la acción del fuego, o permanencia del polígono de quema, debido a la continuidad de la respuesta espectral característica de la cicatriz del fuego que sigue siendo visible en la imagen; y (d) inclusión de nuevas cicatrices del fuego no observadas, o continuidad de las existentes en fecha anterior (Figura 4.2). En la eventual ocurrencia de nubes, o sus respectivas sombras, sobre las cicatrices del fuego en una determinada fecha, impidiendo la correcta actualización del respectivo PIV, se procedió a la verificación de la permanencia de las mismas en la fecha inmediata posterior, promoviendo la eliminación o continuidad del polígono de quema (Figura 4.3).

FIGURA 4.2. Interpretación visual de las imágenes Landsat-8/OLI. (a) Interpretación de la primera fecha; (b) Criterios para la actualización de la segunda fecha; e (c) Segunda fecha actualizada según los criterios establecidos.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 4.3. Actualización de las cicatrices del fuego afectadas por nubes y sombras.

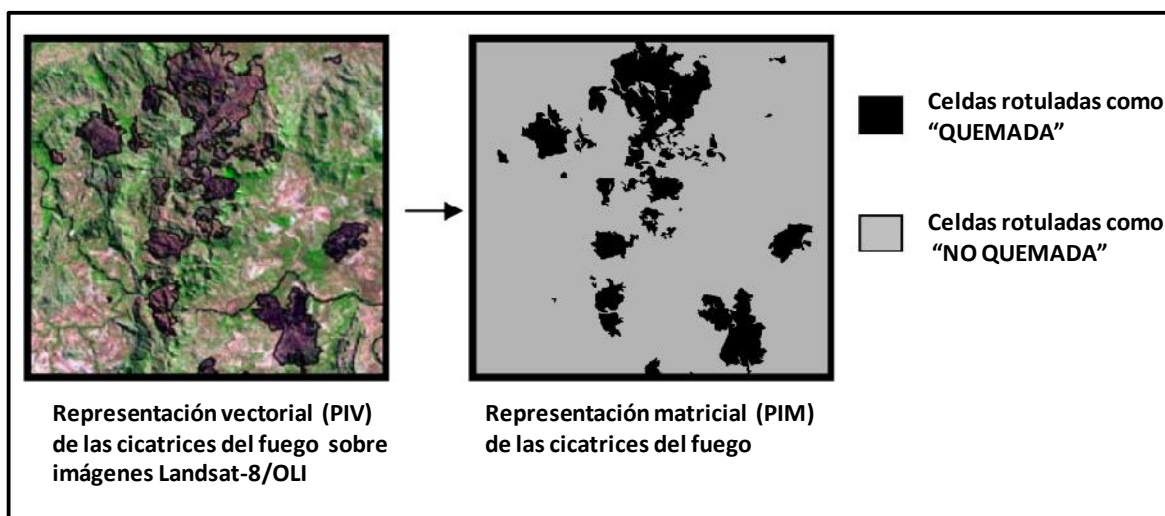


Fuente: Elaboración propia.

En la interpretación visual de las fechas subsiguientes se adoptó un procedimiento idéntico, considerando siempre como punto de partida para una determinada interpretación, la información extraída de la imagen correspondiente a la fecha inmediata anterior. Como resultado de este procedimiento se obtuvo una serie de PIV's referentes a cada una de las quincenas (mosaicos compuestos por 6 imágenes Landsat-8/OLI) del período de estudio, para un total de 42 quincenas.

Finalmente, considerando la necesidad de realizar operaciones algebraicas, a fin de cuantificar el área total quemada en cada quincena y para cada uno de los períodos de quema del período de estudio (noviembre 2014 - octubre 2015 / noviembre 2015 – septiembre 2016), se procedió a transformar las representaciones vectoriales, o PIV's, en representaciones matriciales o planos de información matricial (PIM). Luego, cada celda o *pixel* geo-referenciado en los PIM por índices de fila y columna, conteniendo el valor del atributo mapeado, fue clasificado como "Quemada", cuando se relacionaba a las cicatrices del fuego, o como "No Quemada", cuando se relacionaba a las áreas no afectadas por el fuego (Figura 4.4).

FIGURA 4.4. Transformación de la representación vectorial (PIV) en representación matricial (PIM).



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2 Actualización cartográfica y temática

El material cartográfico utilizado como soporte para el levantamiento de la información temática consistió en la digitalización del mapa de vegetación (Delgado *et. al.*, 2009), a escala 1:250.000, y posteriormente actualizado para el año 2014. Este último procedimiento se realizó con base al primer mosaico de imágenes del satélite Landsat-8/OLI, correspondiente al 11 de noviembre de 2014, con la intención de actualizar los cambios en las distintas formaciones vegetales naturales del Parque Nacional Canaima, debido a intervenciones antrópicas, antes de que fuesen afectadas por la ocurrencia del fuego en fechas posteriores al inicio del período de estudio. Para ello, se utilizaron técnicas de interpretación visual, aplicando un acercamiento sobre las imágenes satelitales con 30 m de resolución espacial, hasta alcanzar un nivel de detalle equivalente a la escala 1:250.000.

4.2.3.3 Geoprocesamiento de los datos e información temática

Una vez efectuada la detección de las aéreas quemadas, se realizaron operaciones algebraicas (unión e intersección) con la ayuda de las aplicaciones QGIS (versión 2.18.3) y ArcGis (versión 10.2.1), a fin de calcular los parámetros requeridos en las estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de incendios forestales en el Parque nacional Canaima, tales como: el área quemada en cada uno de los períodos de quemas (área total quemada), el tipo de vegetación afectada por el fuego y la cantidad de biomasa quemada (densidad de la biomasa quemada).

4.2.4 Estimación de las emisiones atmosféricas brutas a partir de la cantidad de biomasa quemada (Fase 4)

Las estimaciones de emisiones atmosféricas brutas se realizaron a partir de la integración de parámetros biofísicos que relacionan la cantidad de biomasa afectada por el proceso de quema, contenida en las diferentes fisonomías vegetales del Parque Nacional Canaima, con la masa total de una determinada especie química (CO_2) emitida para la atmósfera durante las quemas.

De esta manera, las emisiones atmosféricas brutas de CO_2 (como gas de referencia) para cada año estudiado (2015 y 2016) fueron estimadas utilizando el modelo propuesto por

Seiler y Crutzen (1980) (Ecuación 1). La estimación de las emisiones es el producto de cinco parámetros biofísicos que relacionan la cantidad de la biomasa quemada con los flujos de emisiones. Para ello, se estimó, inicialmente, la cantidad de biomasa quemada (M).

$$M = A \times B \times E \quad (\text{Peso de la materia seca}) \quad (1)$$

Siendo, A el área total quemada (ha) (ítem 4.2.3); B la densidad de la biomasa (t/ha); y E la eficiencia de la quema (adimensional).

Después de haber estimado la cantidad de biomasa consumida por el fuego (Ecuación 1), la masa total de CO_2 emitida durante las quemas se relacionó con M (Ecuación 2).

$$M(CO_2) = M \times C \quad (2)$$

Siendo, $M(CO_2)$ la masa total de carbono emitida (t); y C el contenido de CO_2 en la biomasa quemada (adimensional). Este último parámetro varía entre 40 y 50% dependiendo del tipo fisiológico afectado por el fuego y fue definido según valores estándares disponibles en la literatura.

Posteriormente, la masa total de CO_2 emitido durante las quemadas [$M(CO_2)$] fue relacionando con la eficiencia de la combustión (EC) (adimensional), utilizando la siguiente ecuación:

$$M(CO_2) = M \times EC \quad (3)$$

Donde, EC corresponde a la fracción de carbono emitida como CO_2 en relación a la cantidad total de carbono emitido durante la quema [$M(C)$].

Finalmente, las emisiones de CO_2 fueron utilizadas como gas de referencia para estimar la masa total de otras especies químicas emitidas (CO y NO_x), aplicando un cociente de emisión (RCO y RNO_x) (Cuadros 5.8 y 5.9).

4.2.5 Talleres, entrevistas y consultas con miembros y líderes de las comunidades Pemón

El análisis y discusión de los resultados obtenidos mediante la interpretación de imágenes satelitales y de las estadísticas de las áreas quemadas, se complementaron con la información obtenida por el autor en la participación de tres talleres como facilitador y relator de los resultados alcanzados en las mesas de trabajo relacionadas con el manejo del fuego (GIMPAFU, 2015, 2017a, 2017b), a saber:

a) I Encuentro e Intercambio de Saberes para la Gestión Intercultural del Manejo Participativo del Fuego.

Período: 08 – 11 de julio de 2015.

Lugar: Estación Científica Parupa. Gran Sabana. Estado. Bolívar.

Realización: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MPPEA) – Instituto Nacional de Parques (Inparques) - Universidad Simón Bolívar (USB) – Royal Holloway University of London.

b) I Taller de trabajo: Diseño de planes de acción en cambio climático integrando las perspectivas desde lo local indígena con la academia y las instituciones en el Parque Nacional Canaima.

Período: 23 – 25 de enero de 2017.

Lugar: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas.

Realización: Embajada Británica (Caracas) – Universidad Simón Bolívar (USB) – Royal Holloway University of London.

c) II Taller de trabajo: “Desarrollo de herramientas interculturales y participativas para la implementación de planes de acción de mitigación y adaptación al cambio climático en el Parque Nacional Canaima”.

Período: 27 de noviembre – 02 de diciembre de 2017.

Lugar: Estación de Bomberos Forestales Pajaritos - Inparques. Caracas.

Realización: Embajada Británica (Caracas) – Universidad Simón Bolívar (USB) – Royal Holloway University of London – Instituto Nacional de Parques (Inparques). Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas) (IVIC).

Asimismo, durante los referidos talleres se realizaron entrevistas abiertas y consultas a todos los actores relacionados con el manejo integrado del fuego en el Parque Nacional Canaima, como lo son: los miembros y líderes de la comunidad indígena, los servidores públicos de diferentes organismos del Estado con responsabilidad en la gestión y control de los incendios forestales a escala nacional y con docentes e investigadores de diversas universidades y centros de investigación a nivel nacional e internacional (Anexo B, C y D lista de asistentes).

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Cuantificación y patrón de distribución de las áreas quemadas

En esta sección se presenta la cuantificación y distribución del área total quemada para cada una de las fisionomías vegetales del Parque Nacional Canaima (PNC), obtenidas a partir de las imágenes del satélite Landsat-8/OLI, para cada uno de los períodos de quema del período de estudio: 2015 (noviembre 2014 - octubre 2015) y 2016 (noviembre 2015 – septiembre 2016). Estos procedimientos resultaron de la intersección entre las capas de información del Área Total Quemada y del Mapa de Vegetación (Delgado *et. al*, 2009), actualizado para el año 2014, conforme metodología descrita en 4.2.3.2

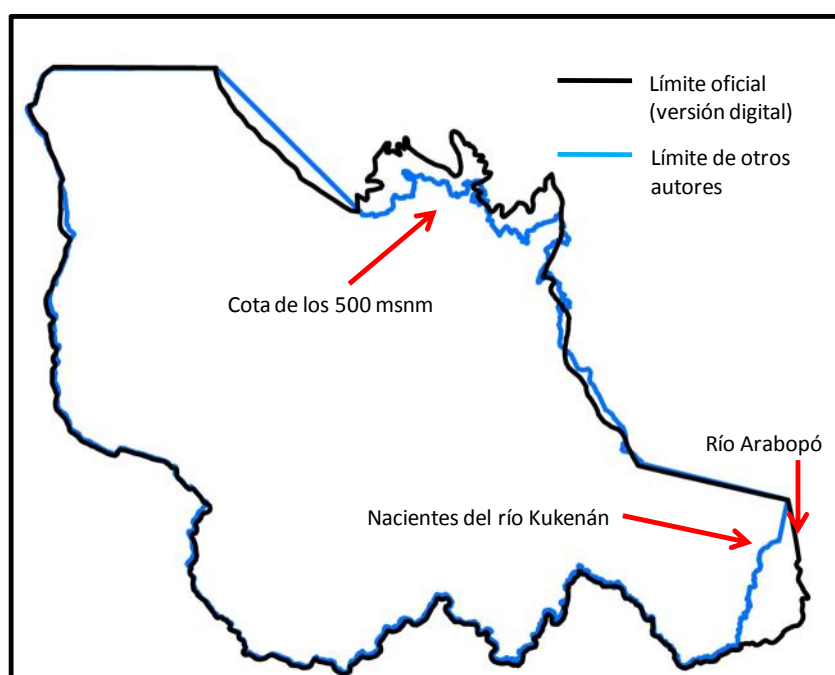
Cabe destacar que la cuantificación del área quemada es una de las variables de entrada utilizada en el modelo de estimación de las emisiones de los principales GEI, resultantes de la quema de biomasa en el PNC (2.2.2.3.1, ecuación 1). A diferencia de las otras variables, que pueden ser estimadas mediante índices o factores de emisión, la cuantificación del área quemada en estudios regionales (como la presente investigación) debe ser cuantificada con imágenes satelitales que suministren información detallada (mediana o alta resolución espacial) sobre el comportamiento del fuego. De esta forma, se obtienen productos del área quemada precisos que conducen a estimaciones de emisiones atmosféricas confiables.

Asimismo, es importante subrayar que se encontraron discrepancias entre la superficie del PNC establecida en el Decreto No. 1.137 (1975) y aquellas superficies utilizadas por diferentes autores en el levantamiento de información básica o temática. Esta discrepancia obedece tanto a imprecisiones en la descripción oficial de los linderos del Parque como a la superficie establecida en el referido Decreto (3.000.000 ha).

La discrepancia en la superficie del PNC presente en los diferentes productos cartográficos existentes obedece, por un lado, a la dificultad para determinarse la cota de los 500 msnm como límite al noreste del Parque; así como a la confusión en relación al lindero sureste,

el cual debe ser delimitado por el río Arabopó, tributario del río Kukenán, hacia el extremo sureste del Parque, según el Decreto No. 1.137 (1975); y no por este último desde su nacimiento, como se establece en algunas de las publicaciones consultadas (Figura 5.1). Estas dificultades en la determinación precisa de los linderos ha ocasionando un incremento o disminución de la superficie real del PNC, según hayan sido los criterios aplicados en la generación de los distintos productos cartográficos existentes en la literatura.

FIGURA 5.1. Diferentes límites del Parque Nacional Canaima utilizados en la literatura.



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se debe considerar que la superficie establecida en el Decreto No. 1.137 (1975) fue levantada aplicando procedimientos tradicionales con mapas impresos y de escala reducida (1:500.000), en contraposición a los procedimientos actuales basados en la cartografía digital y en las técnicas de percepción remota, la cual se vale de algoritmos computacionales para el cálculo de áreas o de curvas de nivel con muy alta precisión cartográfica.

En definitiva, vale mencionar que todos los productos de área quemada generados por el autor en esta investigación se encuentran enmarcados dentro de la poligonal oficial (en su versión digital, 2.900.315,72 ha). Asimismo, las diferencias en las magnitudes de la superficie del PNC existentes entre la poligonal oficial y los productos cartográficos generados por otros autores referidos en esta investigación, en relación a la superficie establecida en el Decreto No. 1.137 (1975) (3.000.000 ha), no supera en ningún caso el 5% (3,44% y 5%, respectivamente para la poligonal oficial digital y el referido Mapa de Vegetación).

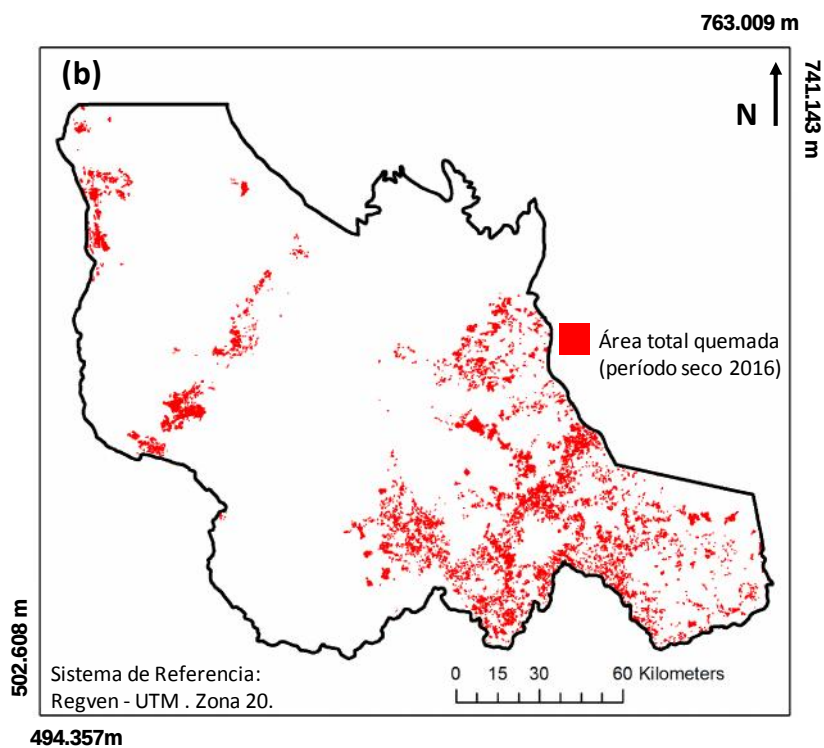
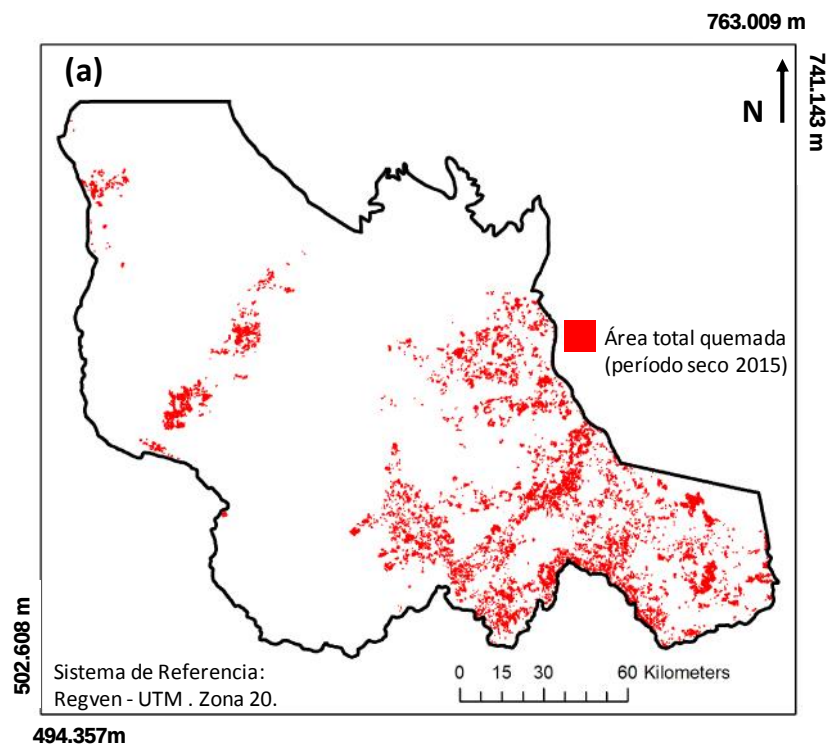
5.1.1 Cuantificación de las Áreas Quemadas

El área total quemada en cada uno de los períodos de estudio fue de 83.408,04 ha y 86.594,87 ha, respectivamente para 2015 y 2016, lo cual representa un 2,87% y 2,98% de la superficie total del PNC (2.900.315,72 ha); o bien, un 7,28 % y 7,56% de su Sector Oriental (ocupado mayormente por la vegetación de Sabana), respectivamente para cada año de estudio. Asimismo, para el período de quema 2016 las estadísticas apuntan a un ligero incremento de 3,82 % en el área total quemada, así como de un incremento del 19,82% en el promedio del tamaño de los polígonos de áreas quemadas (polígonos de quema) (ambos en relación al 2015) (Cuadro 5.1 y Figura 5.2).

CUADRO 5.1. Resumen de las estadísticas de la superficie quemada (ha) durante los períodos de quema 2015 y 2016 en el Parque Nacional Canaima.

ESTADÍSTICAS	Período de quema 2015	Período de quema 2016
Número de eventos	5.438	4.712
Área total quemada (ha)	83.408,04	86.594,87
% área quemada del total de la superficie del PNC	2,87	2,98
Superficie mínima del área quemada (ha)	1,50	1,50
Superficie máxima del área quemada (ha)	1.356,37	2.009,87
Promedio del tamaño de los polígonos de áreas quemadas (ha/eventos)	15,34	18,38
Desviación estándar	44,57	59,71
Densidad de eventos por superficie (Nro. de eventos/superficie total del área estudio x 1000)	28,76	29,86

FIGURA 5.2. Área total quemada en el Parque Nacional Canaima. (a) Período seco 2015. (b) Período seco 2016.



Cabe destacar, además, que este incremento del 3,82 % de la superficie quemada en 2016 (en relación a 2015) ocurrió, en aparente contradicción, de manera conjunta con la disminución del 13,35% del número total de eventos ocurridos. Sin embargo, este incremento en la superficie quemada podría estar relacionado con el aumento del porcentaje de incendios mayores a 100 ha ocurridos en 2016 (32,96% y 41,11%, respectivamente para 2015 y 2016); expresado, también, en el incremento del tamaño promedio de los polígonos de áreas quemadas: de 15,34 a 18,38 ha/eventos (respectivamente para 2015 y 2016) (Cuadro 5.1).

Igualmente, el referido incremento, podría estar relacionado con la ocurrencia en 2016 de un evento de 2.009,87 ha (Cuadro 5.1), considerado como un incendio de gran magnitud o proporción (*megaincendio*), característico de ambientes con un gran número de meses sin precipitaciones, donde el material combustible (biomasa seca) se ha acumulado en volumen y extensión. Estas condiciones favorables a la ocurrencia de megaincendios se relacionan, como lo indican Menaut *et al.* (1991), con el bajo contenido de agua (durante el período seco), en la capa herbácea de la vegetación (compuesta principalmente por hojas de gramíneas) (20 a 30%) y de alrededor del 50% en el estrato arbustivo. Asimismo, el material fino muerto es más propenso a la combustión y a la influencia del fuego que la vegetación viva (debido al alto contenido de agua) y que otros componentes del combustible de la biomasa (Palacios-Orueta, *et al.*, 2005).

Adicionalmente, Menaut *et al.* (1991) afirman que la proporción de materia muerta es significativamente mayor en la vegetación herbácea seca que en la húmeda, demostrando que las quemaduras que ocurren al inicio del período seco consumen menores cantidades de combustible que aquellas ocurridas durante el final de este período, ya que la proporción de agua contenida en el estrato gramíneo decrece gradualmente desde el final del período húmedo, momento en que la biomasa alcanza su máximo valor (alrededor del 50% de agua), hasta el auge del período seco (alrededor del 30% de agua).

Esto explica la ocurrencia de los megaincendios (áreas quemadas mayores a 500 ha) en el PNC durante algunos meses del año 2015 (febrero, marzo, mayo, octubre y diciembre) y los primeros meses de 2016 (enero y febrero), ambos períodos influenciados por la

actividad del fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO), totalizándose nueve (9) megaincendios en 2015 y trece (13) en 2016 (Cuadro 5.2 y 5.3). Cabe destacar que los años 2013, 2014 y 2015 se corresponden con un período seco extendido a escala nacional (Inameh, 2016). Asimismo, Rafael Hernández, analista del Inameh (com. pers., 2019), indicó que la sequía que se inició a mediados de 2013 se prolongó durante 2014, 2015 y el primer trimestre de 2016, disminuyendo gradualmente su intensidad, magnitud, duración y distribución espacial durante el período lluvioso de 2016 (abril a octubre).

CUADRO 5.2. Estadísticas del área total quemada (ha) para cada mes del período de estudio (noviembre/2014 - septiembre/2016) en el Parque Nacional Canaima.

AÑO	MES	NÚMERO DE EVENTOS	ÁREA QUEMADA MÍNIMA (ha)	ÁREA QUEMADA MÁXIMA (ha)	TAMAÑO PROMEDIO DE LAS ÁREAS QUEMADAS (ha)	DESVIACIÓN TÍPICA	ÁREA TOTAL QUEMADA (ha)	ÍNDICE MENSUAL DE ÁREA QUEMADA (x1000)*
2014	NOVIEMBRE	49	1,58	296,14	19,11	44,00	936,32	0,32
	DICIEMBRE	611	1,51	448,71	13,24	33,89	8.087,53	2,79
2015	ENERO	1.230	1,50	473,56	13,00	31,68	15.991,02	5,51
	FEBRERO	632	1,54	699,27	19,41	42,15	12.267,82	4,23
	MARZO	219	1,50	569,64	19,31	58,96	4.229,58	1,46
	ABRIL	536	1,52	326,96	13,70	28,51	7.340,77	2,53
	MAYO	482	1,50	818,56	23,09	65,98	11.129,94	3,84
	JUNIO	15	1,68	33,68	9,15	9,17	137,31	0,05
	JULIO	6	1,50	15,12	6,68	4,38	40,05	0,01
	AGOSTO	64	1,55	119,96	11,16	17,95	713,99	0,25
	SEPTIEMBRE	322	1,51	197,48	10,35	19,34	3.331,81	1,15
	OCTUBRE	1.272	1,50	1.356,37	15,10	57,09	19.201,89	6,62
	NOVIEMBRE	143	1,51	128,29	9,44	14,69	1.350,06	0,47
	DICIEMBRE	610	1,50	2.009,87	21,26	96,96	12.969,60	4,47
2016	ENERO	2.319	1,50	1.136,20	19,26	56,84	44.674,96	15,40
	FEBRERO	29	1,56	236,49	33,40	50,22	968,61	0,33
	MARZO	1.267	1,51	638,48	17,65	48,69	22.362,78	7,71
	ABRIL	71	1,52	352,08	17,33	47,66	1.230,30	0,42
	MAYO	69	1,51	409,76	19,11	51,55	1.318,62	0,45
	JUNIO	24	1,70	100,41	10,46	19,67	251,02	0,09
	JULIO	38	1,53	218,52	15,94	35,97	605,53	0,21
	AGOSTO	142	1,50	77,74	6,16	9,76	874,83	0,30
Total Período Seco 2015 (Nov-2014/Oct-2015)		5.438			14,44		83.408,04	
Total Período Seco 2016 (Nov-2015/Oct-2016)		4.712			17,00		86.606,32	

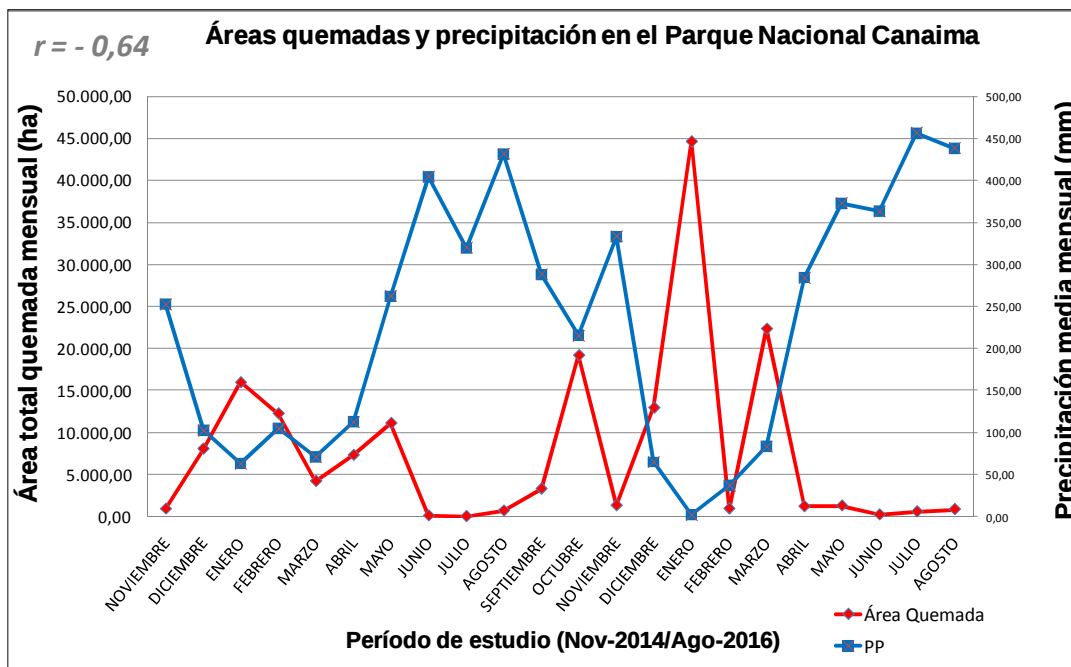
*Área total quemada/superficie del PNC (2.900.315,72 ha) x 1000.

Es importante destacar que aun cuando el Inameh desde hace algunos años no publica datos oficiales (históricos o actuales) en su página web sobre la precipitación y temperatura en Venezuela, se conoce de la influencia de ENSO en el país a través de los reportes de la OMM sobre el estado del clima mundial (OMM, 2016 y 2017). Esta organización reportó durante 2015 temperaturas superiores a lo normal para Venezuela, con anomalías de hasta 2 °C (2016 fue el segundo año más cálido, después de 2015). Las temperaturas más elevadas se registraron en Venezuela y Colombia, al norte de Chile y al sureste de Brasil. Además, reportó una disminución de la precipitación en Venezuela durante la ocurrencia de ENSO en 2015 y el primer trimestre de 2016 (transición de ENSO), indicando que las condiciones de sequía persistente afectó gravemente la generación hidroeléctrica, haciendo referencia a la Represa de Guri, ubicada en la cuenca del Río Caroní, en la cual se inserta el PNC casi en su totalidad (ocupando cerca del 33% de esta cuenca).

En el Gráfico 5.1 se muestra la influencia de la sequía extendida (2013 – 2016) sobre la superficie quemada durante el período de estudio. Cabe destacar que para este análisis se utilizaron datos de precipitación de tres (03) estaciones meteorológicas ubicadas dentro del PNC (Kamarata, Kavanayén y Urimán), en ausencia del restante de los datos para las demás estaciones meteorológicas comprendidas en el PNC.

En este gráfico, se puede observar que la mayor incidencia de incendios forestales está relacionada con la disminución o escasez de precipitación; a excepción de los meses de marzo, abril (2015) y febrero (2016), en los cuales la ausencia de lluvia coincide con la aparente baja actividad del fuego. Esta coincidencia se explica debido a la subestimación en la detección de áreas quemadas, ocasionada por la alta incidencia de nubosidad en las imágenes satelitales, que hicieron imposible detectar las cicatrices del fuego. En este sentido, se puede afirmar que en el PNC existe, durante el período de estudio, una correlación en sentido inversa (negativa) entre la precipitación mensual y el área total quemada, expresada por el coeficiente de *Pearson* en $r = -0,64$.

GRÁFICO 5.1. Correlación entre las áreas quemadas y la precipitación media mensual en el Parque Nacional Canaima.



Fuente: Elaboración propia con datos meteorológicos suministrados por Rafael Hernández, analista del Inameh (com. pers., 2019), en ausencia de información oficial.

Por otro lado, se infiere que la ocurrencia de megaincendios en el PNC esté relacionada, además, con la disminución de incendios pequeños (menores a 10 ha), contabilizados en 3.850 y 3.220 eventos en 2015 y 2016, respectivamente (disminución de un 16,36%) (Cuadro 5.3). Esta relación se explica, ya que la ocurrencia de incendios pequeños durante el inicio del período de quema (período seco) favorece una menor acumulación del material combustible (biomasa seca) al final de este período, haciéndolo menos propenso a la combustión y a la influencia del fuego.

De hecho, la quema de pequeñas parcelas (aisladas o contiguas), al inicio del período seco, es una práctica tradicional y ancestral de las comunidades indígenas, con la que se evitaba la ocurrencia de megaincendios en el Parque. En este sentido, el concepto del manejo integral del fuego (MIF), o participativo (comunidades y organismos públicos) cumple un papel fundamental al permitir la realización de quemas prescritas o controladas, a fin de

disminuir la cantidad de biomasa seca acumulada en un mismo período seco, de un período seco a otro, o de varios períodos secos consecutivos.

CUADRO 5.3. Área total quemada (ha) durante los períodos de quema 2015 y 2016 en el Parque Nacional Canaima por clases de tamaño de los polígonos de quema.

Período Seco 2015						
Clases de Tamaño de los Polígonos de Quema* (ha)	Número de Polígonos de Quema	% del Total del Número de Polígonos de Quema	Superficie Afectada de la Clase (ha)	% del Total de la Clase	Promedio del Tamaño de los Polígonos de Quema (ha)	Desviación Estándar
1,50 - 9,99	3.850	70,81	15.914,40	19,08	4,13	2,26
10 - 49,99	1.273	23,41	26.682,66	31,99	20,96	9,83
50 - 99,99	191	3,51	13.318,11	15,97	69,73	14,67
100 - 499,99	114	2,10	20.775,51	24,91	182,24	88,04
500 - 999,99	7	0,13	4.299,31	5,15	614,19	100,49
1000 - 1499,99	2	0,04	2.416,56	2,90	1.208,28	148,09
>1500						
Total	5.437	100,00	83.406,55	100,00		

Período Seco 2016						
Clases de Tamaño de los Polígonos de Quema* (ha)	Número de Polígonos de Quema	% del Total del Número de Polígonos de Quema	Superficie Afectada de la Clase (ha)	% del Total de la Clase	Promedio del Tamaño de los Polígonos de Quema (ha)	Desviación Estándar
1,50 - 9,99	3.220	68,34	13.405,78	15,48	4,16	2,25
10 - 49,99	1.174	24,92	24.918,93	28,78	21,23	10,30
50 - 99,99	180	3,82	12.672,01	14,63	70,40	13,28
100 - 499,99	125	2,65	25.273,19	29,19	202,19	105,06
500 - 999,99	10	0,21	6.076,77	7,02	607,68	35,84
1000 - 1499,99	2	0,04	2.238,33	2,58	1.119,17	17,03
>1500	1	0,02	2.009,87	2,32		
Total	4.712	100,00	86.594,87	100,00		

Varios autores ya han utilizado el manejo integrado del fuego tanto en el PNC como en otras áreas de sabanas extensas del planeta, demostrando que estas prácticas contribuyen significativamente a disminuir la ocurrencia de incendios de grandes proporciones o megaincendios. Es el caso del estudio realizado por Rodríguez (2007) con un grupo de ancianos del PNC, poseedores del conocimiento ancestral del manejo del fuego. En este trabajo, los ancianos Pemón entrevistados manifestaron que la quema de sabanas cumple un papel importante en la prevención de incendios destructivos o de grandes proporciones, por ello utilizan la quema de pequeñas áreas de vegetación de Sabana como práctica ancestral de manejo del fuego.

La técnica de quema de pequeñas áreas o parcelas se conoce como “Quema de Mosaico de Parches” (PMB, por sus siglas en inglés) (Brockett *et al.*, 2001; Parr y Anderson, 2006). Esta herramienta de manejo del fuego se asemeja a las prácticas de quemas ancestrales Pemón en áreas de Sabana, donde se realizan quemas de pequeñas áreas de vegetación herbácea con diferentes alturas (similar a la técnica PMB), creando diferentes etapas de sucesión (Sletto, 2006 y Rodríguez, 2007). En este contexto, Bilbao *et al.* (2009) concluyeron que el fuego puede ser utilizado como una herramienta de manejo en el PNC para la conservación de la biodiversidad y para reducir el riesgo de ocurrencias de incendios forestales de gran magnitud, mediante la implementación de la técnica PMB con diferentes historiales de incendios para generar heterogeneidad en el espacio y el tiempo (Figura 5.3).

FIGURA 5.3. Vista aérea de parcelas experimentales aplicando la técnica PMB.



Fuente: Bilbao *et al.* (2019). En color negro las parcelas quemadas. En tonos grises las parcelas de vegetación herbácea con diferentes alturas (diferentes etapas de sucesión).

Es importante señalar que Inparques se encuentra actualmente realizando pruebas en campo a fin de implementar, de manera acompañada con las comunidades indígenas del PNC, el manejo de las quemas tempranas controladas (al inicio del período seco). Esta práctica de manejo del fuego se ha visto fortalecida con las acciones realizadas en el PNC por diferentes proyectos que datan desde el año 1999, como lo son: a) Proyecto IAB/1999 (Interacciones atmosféricas - Biosfera de la 'Gran Sabana'); b) Proyecto Riesgo/2007

(Factores de riesgo en la reducción de hábitats en el PNC: vulnerabilidad y herramientas para el desarrollo sostenible); c) Proyecto Apök /2012; y d) Proyecto GIMPAFU/2015-2018 (Gestión Intercultural y Participativa de Manejo del Fuego). Estos proyectos persiguen la integración de los conocimientos indígenas, ecológicos y de las capacidades de las instituciones para la formulación de un plan de manejo integral del fuego y el establecimiento de planes de acción para la restauración ecológica del PNC.

El enfoque MIF también ha sido abordado exitosamente en las sabanas tropicales de Australia por Russell-Smith *et al.* (2009) y Russell-Smith *et al.* (2013); y en Brasil por Eloy *et al.* (2017). En ambos países el enfoque MIF se ha venido desarrollando desde hace algunos años, vinculando el conocimiento tradicional y ancestral indígena con el conocimiento científico y las capacidades institucionales de los organismos del Estado. Esta nueva gestión del manejo integrado del fuego, permitió la unificación de criterios y conocimientos entre los diferentes actores, trayendo como resultado una reducción significativa del fuego en las áreas donde se ha implementado esta práctica.

Otro aspecto importante a señalar en relación a la superficie total quemada, es la diferencia en la magnitud de los incendios forestales ocurridos en ambos períodos de estudio (83.408,04 ha y 86.594,87 ha, respectivamente para 2015 y 2016) en relación a otras fuentes. Si bien no existe en Venezuela un registro sistemático por parte de organismos oficiales ni académicos que hayan cuantificado superficies quemadas utilizando imágenes satelitales ópticas de mediana o alta resolución espacial; es posible, en todo caso, comparar la magnitud de la superficie total quemada en el PNC con registros oficiales fundamentados en técnicas tradicionales de detección de incendios forestales (avistamientos o denuncias) y con cuantificaciones empíricas del área quemada (mediciones visuales en campo, basadas en la experiencia del personal que reporta los incendios). Es posible, también, en ausencia de datos oficiales confiables de áreas quemadas, relacionar los resultados de este estudio con productos orbitales de la región del infrarrojo medio (térmico), de escala moderada, utilizados para determinar la

frecuencia y distribución de los focos de calor, indicadores de posibles incendios forestales en el PNC.

En este sentido, se puede afirmar que los resultados obtenidos en esta investigación acerca de la superficie quemada en el PNC (Cuadro 5.1 y 5.2), difieren significativamente de la magnitud de las cifras suministradas en los reportes de incendios forestales generados por la Dirección de Control y Protección de Incendios Forestales (DPCIF), del extinto Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB, 2014) (Cuadro 5.4), donde se suministran datos de la superficie afectada hasta el año 2014 (a partir de este año se suspendió el registro centralizado de incendios forestales).

CUADRO 5.4. Número de eventos y superficie afectada por Incendios Forestales (2000-2014) en el territorio nacional.

Año	Nº de eventos	Total de superficie afectada (Ha)	Tipos de vegetación (ha)					
			Arborea	%	Arbustiva	%	Herbácea	%
2000	1.191	4.121	412	10,00	1.236	29,99	2.473	60,01
2001	3.249	34.076	3.408	10,00	10.223	30,00	20.446	60,00
2002	995	24.444	2.444	10,00	7.333	30,00	14.666	60,00
2003*	2.893	107.984	32.395	30,00	21.597	20,00	53.992	50,00
2004	2.628	79.512	7.951	10,00	23.854	30,00	47.707	60,00
2005	5.112	68.902	6.890	10,00	20.671	30,00	41.341	60,00
2006	3.982	40.712	4.071	10,00	12.214	30,00	24.427	60,00
2007*	3.063	95.492	28.648	30,00	19.098	20,00	47.746	50,00
2008	1.371	47.170	4.717	10,00	17.151	36,36	25.302	53,64
2009	906	23.495	2350	10,00	7.049	30,00	14.097	60,00
2010*	2.449	114.550	34.499	30,12	21.824	19,05	58.226	50,83
2011	392	4.834	302	6,25	2.319	47,97	2.212	45,76
2012	1.106	24.504	4.428	18,07	7.246	29,57	12.830	52,36
2013	1.196	25.207	4.538	18,00	7.384	29,29	13.286	52,71
2014	1.429	37.837	2.549	6,74	11.178	29,54	24.109	63,72
Total 2000-2014	31.962	732.840	139.602	19,05	190.377	25,98	402.860	54,97
Promedio 2000-2014	2.131	48.856,00	9.306,80		12.691,80		26.857,33	
Desviación Típica	1.128,05	29.621,33	9.016,21		6.405,89		15.296,71	

* Años ENSO

Fuente: Dirección de Protección y Control de Incendios Forestales (MINAMB, 2014).

El Cuadro 5, indica que para el período 2000 – 2014 el promedio de la superficie quemada de todo el territorio nacional (48.856 ha) se encuentra muy por debajo del promedio obtenido en el PNC (85.000,71 ha) para los períodos 2015 y 2016. Es decir una

subestimación promedio del 42,50%, aunado al hecho de que el PNC representa apenas el 3,16 % del territorio nacional. Igualmente, es importante destacar, según los registros presentados en el Cuadro 5.4, la alta variabilidad interanual de los reportes oficiales de incendios forestales en Venezuela, la cual oscila entre 4.121 ha y 114.559 ha de superficie quemada reportada entre 2000 y 2014.

Por otro lado, si se compara la densidad de la superficie quemada (promedio) de la vegetación herbácea en el territorio nacional en el período 2000-2014 (ATVH-PNC/AQP-PNC *100), con la densidad de la superficie quemada (promedio) del PNC (período 2015-2016) (ATVH-TN/AQP-TN *100); se tendría aún como resultado que los valores (densidad) de todo el territorio nacional, se encuentran muy por debajo de las estimaciones obtenidas en el PNC (0,17 y 9,9, respectivamente para el territorio nacional y el PNC) (Cuadro 5.5).

CUADRO 5.5. Densidad de superficie quemada en la vegetación herbácea (Territorio Nacional y PNC), en relación al total de la superficie herbácea existente (Territorio Nacional y PNC).

Vegetación Herbácea (PNC)*	Superficie (ha)	Vegetación Herbácea Territorio Nacional (TN)**	Superficie (ha)
Sabana	728.346,80	Sabanas abiertas	5.686.500,00
Sabana inundable	50.864,50	Herbazales de pantano	596.000,00
Herbazal	3.238,20	Sabanas arbustivas y/o arboladas	8.776.700,00
Asociación Bosque/Sabana	33.486,90	Herbazal tepuyano	284.700,00
Asociación Arbustal/Sabana	20.795,80	Herbazal y arbustal tepuyano	606.700,00
Asociación Matorrasl/Sabana	5.524,90		
Sabana y arbustal	8.785,20		
Área total vegetación herbácea (ATVH-PNC)	851.042,30	Área total vegetación herbácea (ATVH-TN)	15.950.600,00
Área quemada promedio (2015-2016) (AQP-PNC)	85.000,71	Área quemada promedio (2015-2016) (AQP-TN)	26.857,33
Densidad (ATVH-PNC)/(AQP-PNC)*100	9,99	Densidad (ATVH-TN)/(AQP-TN)*100	0,17

Fuente: *Delgado *et al.* (2009); ** Huber y Oliveira-Miranda (2010).

Es decir, se podría inferir que la subestimación anual de la superficie herbácea quemada en toda Venezuela realizada por el MINAMB (2014), equivale a cerca de 58 órdenes de magnitud, en relación a la obtenida en este estudio en el PNC. Sin embargo, es importante señalar que este análisis no es conclusivo, puesto que sería necesario disponer de una línea base temporal de datos de superficies quemadas equivalentes, que permita comparar ambos resultados.

Ahora bien, las causas de las diferencias encontradas entre la magnitud de la superficie quemada obtenida en este estudio y la suministrada en los inventarios oficiales (MINAMB, 2014) (Cuadros 5.4 y 5.5), se relacionan con las dificultades que tienen los organismos oficiales para combatir o atender los incendios forestales reportados, así como con los procedimientos, las técnicas de medición y de recopilación de información utilizados para cuantificar la superficie quemada en el territorio nacional. Estos inventarios se basan en reportes realizados por las instituciones responsables del control, combate y extinción de los incendios forestales ocurridos en el territorio nacional, como: el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo (MINEC) e Inparques (este último sólo recopila información de los incendios ocurridos en los Parques Nacionales); además, de la Brigada de Ataque Inicial “Carlos Todd” de CORPOELEC responsable por la detección y combate de incendios forestales en el PNC.

Por lo tanto, se puede mencionar, entre las causas, la falta de materiales y equipos, así como la escasez del personal de campo (regulares y voluntarios), lo cual dificulta significativamente las operaciones de combate de incendios forestales, propiciando que una parte de los incendios reportados no puedan ser atendidos. El Cuadro 5.6 muestra la incidencia de los eventos atendidos y no atendidos en cada entidad federal, entre el 01 de enero y el 3 de septiembre de 2014. Las cifras indican que del total de los incendios forestales reportados, el 22,54% ($\sigma= 19,16$) no pudieron ser atendidos; es decir que no pudieron ser extinguidos, por lo tanto no ingresaron en las estadísticas de cuantificación.

CUADRO 5.6. Reporte de incendios forestales a escala nacional comprendidos entre el 01 de enero y el 30 de septiembre de 2014.

Estado	Nº de eventos	Total de superficie afectada (Ha)	Eventos atendidos	% Eventos no atendidos
Amazonas	40	211,50	40	0,00
Anzoátegui	0	0,00	0	0,00
Apure	0	0,00	0	0,00
Aragua	72	977,76	72	0,00
Barinas	7	644,80	5	28,57
Bolívar	0	0,00	0	0,00
Carabobo	146	2.626,33	132	9,59
Cojedes	192	14.392,50	55	71,35
Delta Amacuro	49	6.396,06	48	2,04
Distrito Capital	118	497,87	118	0,00
Falcón	7	28,00	4	42,86
Guárico	67	561,36	62	7,46
Lara	36	3.169,40	18	50,00
Mérida	17	482,00	17	0,00
Miranda	33	154,32	33	0,00
Monagas	45	95,35	45	0,00
Nueva Esparta	14	29,41	11	21,43
Portuguesa	27	532,25	22	18,52
Sucre	346	3.387,93	253	26,88
Táchira	53	149,16	50	5,66
Trujillo	64	1.310,85	42	34,38
Vargas	0	0,00	0	0,00
Yaracuy	26	388,50	25	3,85
Zulia	3	280,00	3	0,00
TOTAL	1.362	36.315,35	1.055,00	22,54

Fuente: Dirección de Protección y Control de Incendios Forestales (MINAMB, 2014).

A todo esto, se le suman los incendios forestales no reportados, los cuales también carecen de información estadística, contribuyendo de esta manera a incrementar, aún más, la subestimación de las superficies quemadas. Asimismo, se tiene que las cuadrillas de combate de incendios forestales presentan serias dificultades para llegar al lugar de los eventos, en ausencia de vehículos para su transporte, resultando en eventos que no son reportados, lo cual también contribuye con la subestimación de los incendios forestales en Venezuela.

En el caso de los registros de ocurrencias de la actividad del fuego en el PNC, la situación es bastante crítica. Todas las causas de subestimaciones que se han referido están

presentes en el PNC, el cual se caracteriza por poseer un área muy extensa, con sectores de difícil acceso o inaccesibles y escasos recursos materiales y del talento humano para controlar y combatir la gran cantidad de incendios forestales que allí ocurren.

Por otro lado, la responsabilidad de alimentar y manejar la base de datos con los registros de la ocurrencia de la actividad del fuego en el PNC corresponde, además de Inparques y CORPOELEC, a la coordinación de incendios forestales del estado Bolívar, adscrita al MINEC. Sin embargo, este organismo ha manifestado la imposibilidad de reportar sistemáticamente la ocurrencia de incendios forestales desde el año 2012 (com. Pers. Efraín León, Director de Protección y Control de Incendios Forestales del MINEC). A manera de ejemplo, se puede observar en el Cuadro 5.6 la ausencia de datos para el estado Bolívar (donde se inserta el PNC), lo que resulta en la subestimación de la cuantificación de las superficies quemadas en el PNC. A ello, se añade la desarticulación desde hace algunos años del programa de detección y combate de incendios forestales de CORPOELEC en la cuenca del río Caroní, el cual incluía casi en su totalidad al PNC, intensificando aún más la carencia de registros de la actividad del fuego e interrumpiendo el establecimiento de una línea base temporal de datos de superficies quemadas, indispensable para la elaboración de los planes de manejo del fuego y la adecuada gestión del PNC.

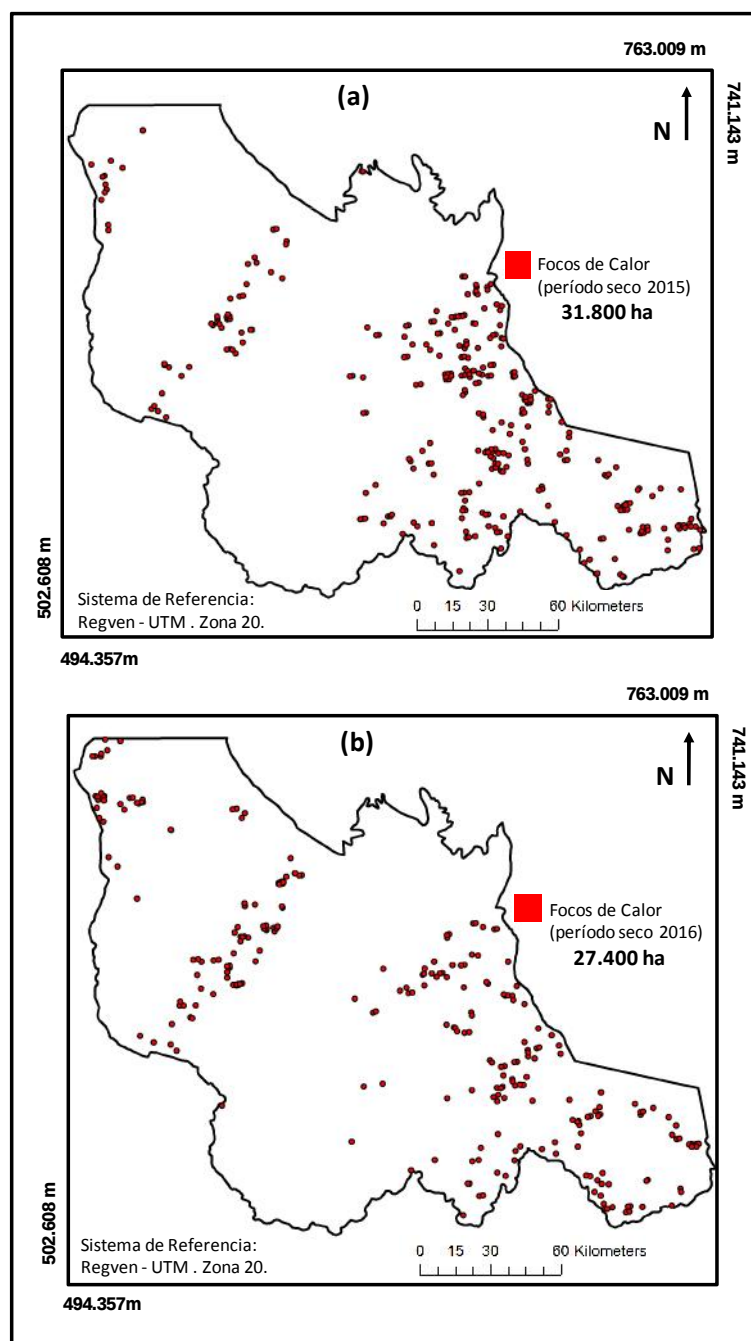
Otra fuente de información importante para la comparación de los resultados obtenidos en esta investigación es la suministrada por el programa de detección de focos de calor del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE, 2018). A pesar de su baja resolución espacial ($1 - 4 \text{ km}^2$) las imágenes de satélites meteorológicos (p. ej. NOAA) y de observación de la Tierra (p. ej. MODIS/Aqua-Terra) son utilizadas para detectar incendios activos o focos de calor, indicadores de posibles incendios forestales, mediante una banda térmica sensible a las temperaturas de la superficie terrestre, que provee información importante para el monitoreo de los incendios forestales. Tradicionalmente el uso de estas imágenes ha demostrado su potencial para monitorear la actividad del fuego,

debido a su cobertura casi diaria de todo el planeta (entre 2 y 3 días), minimizando así la acción de la cobertura nubosa.

Aun cuando no se consideren los más adecuados para cuantificar el área quemada en la vegetación de Sabana, debido a la omisión en la detección de áreas quemadas ocasionadas, entre otras razones, por la rápida combustión de este tipo de vegetación (de apenas pocas horas), los focos de calor se utilizaron en este estudio para verificar la discrepancia existente entre los registros oficiales de la superficie quemada (MINAMB, 2014) y los resultados presentados en esta investigación; asumiendo que existe una correlación entre los focos de calor y la ocurrencia de incendios forestales en el PNC. Asimismo, vale señalar que, en ausencia de datos de áreas quemadas, los focos de calor han sido ampliamente utilizados por la comunidad científica como parámetro de cuantificación de biomasa quemada en las estimaciones de emisiones de los principales GEI, principalmente en estudios de alcance global. Es el caso de trabajos publicados por Jain (2007); Duncan, *et al.* (2003); Potter *et al.* (2002), entre otros.

En la Figura 5.4, se presenta una estimación de las superficies afectadas por la ocurrencia de incendios forestales en el PNC, utilizando focos de calor obtenidos por el satélite Modis/Aqua-Tarde (INPE, 2018), donde cada uno de estos focos representa el área afectada por el fuego en una superficie de 1 km² (100 ha). Los resultados obtenidos indican que la superficie afectada fue de 31.800 ha y 27.400 ha (respectivamente para el 2105 y 2016), lo cual representa una subestimación del área quemada de 61,87% y 68,36% (un factor de 2,62 y 3,16 veces menos, respectivamente para el 2105 y 2016), en relación a los resultados obtenidos en este estudio (Cuadro 5.1).

FIGURA 5.4. Focos de Calor en el Parque Nacional Canaima. (a) Período seco 2015. (b) Período seco 2016.



Fuente: INPE (2018)

Este resultado es consistente con lo reportado por Rivera-Lombardi (2009b), quien encontró una discrepancia expresiva de 77,53% en la subestimación de áreas quemadas utilizando focos de calor (un factor de 4,5 veces menos) obtenidos por el INPE (2016), en

relación a las áreas quemadas cuantificadas con imágenes Landsat/TM para todo el bioma de Sabana brasileiro (Cerrado), durante el período seco de 2005.

Finalmente, se puede afirmar que las diferencias encontradas entre los resultados de esta investigación, en relación a los reportes de eventos ocurridos en Venezuela (MINAMB, 2014) y a los focos de calor (INPE, 2018), se deben a la subestimación en la cuantificación de las superficies quemadas producto de las omisiones en el levantamiento de los datos, en el primer caso; y a las limitaciones operativas del sensor y de la plataforma orbital de los satélites de bajo o moderada resolución espacial, en el último caso.

5.1.2 Patrón de Distribución de las Áreas Quemadas

5.1.2.1 Distribución de los polígonos de quema por clase de tamaño

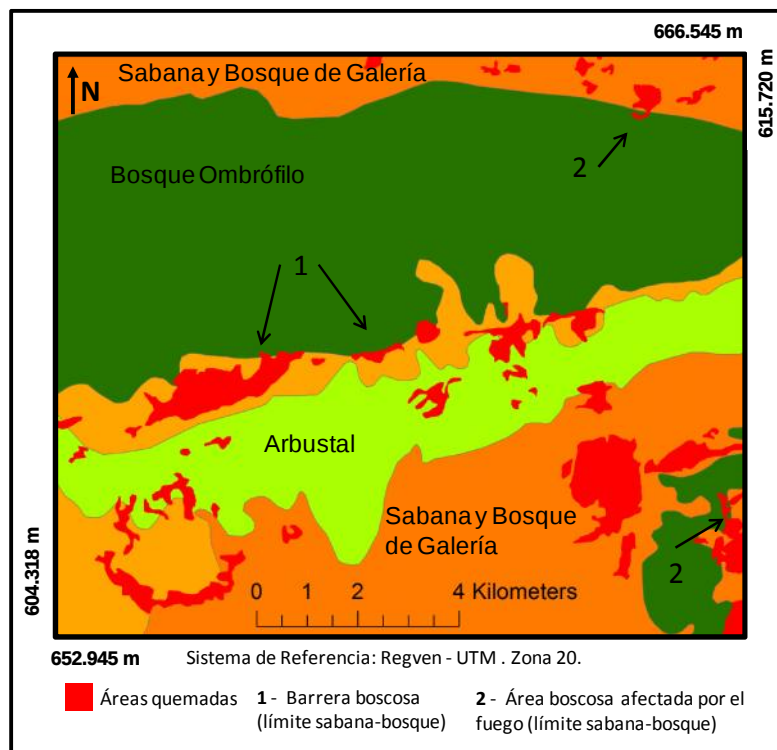
El área total quemada durante el período de estudio, presentada en los Cuadros 5.1 y 5.2, fue distribuida en clases de tamaño de los polígonos de quema (Cuadro 5.3) Este cuadro muestra que el mayor número de polígonos de quema corresponde a superficies menores a 10 ha (70,81 y 68,34 %), y junto con la clase de tamaño 10 a 49,99 ha representan el 94,22 % y el 93,5 % del total de los eventos ocurridos en el PNC, respectivamente para 2015 y 2016. En lo referente a la superficie afectada por incendios forestales de ambas clases de tamaño (menores a 50 ha), se tiene que éstas representan el 51,07 % y 44,26 % del área total quemada del PNC, respectivamente para ambos periodos de estudio.

Asimismo, es importante destacar que casi la totalidad de las áreas quemadas (99,83 % y 99,72 %, respectivamente para 2015 y 2016) corresponden a superficies menores a 500 ha. En este sentido, se puede afirmar que aquellas áreas quemadas iguales o superiores a 500 ha no se corresponden con el manejo integrado del fuego como práctica tradicional indígena para la gestión ambiental de su territorio (Cuadro 5.3). Las áreas quemadas en el PNC, comprendidas en este tamaño de clase, pueden considerarse como incendios forestales de grandes proporciones o megaincendios; causados usualmente por quemas fuera de control que normalmente alcanza grandes superficies de material combustible en el bioma de Sabana (según lo discutido anteriormente), y que en pocos casos superan el

límite sabana-bosques, afectando en mayor o menor medida las formaciones boscosas aledañas, como reportado por Vincelli (1981); Sarmiento (1983 y 1984) y Ablan *et al.* (2007).

La Figura 5.5 muestra un ejemplo de las quemaduras detectadas en el PNC que tienen lugar en el bioma de Sabana y los cinturones de vegetación pirófila (resistente al fuego) que conforman los ecotonos de la interfase Sabana-bosque, pero que apenas una pequeña área boscosa es afectada; o que además, funciona como una barrera natural para extinguir el fuego. Esto se debe, como lo afirman Leal *et al.* (2016), al hecho de que los incendios que se inician en la Sabana se extienden al límite Sabana-bosques, y generalmente se extinguen de manera natural en los bordes del bosque húmedo. En estos casos, el fuego no representa una amenaza al bosque, sin embargo durante años muy secos (p. ej. durante años ENSO), las áreas limítrofes del bosque están lo suficientemente secas como para permitir la quema de los bordes del bosque, usualmente matando los árboles.

FIGURA 5.5. Áreas quemadas en la interfase Sabana-Bosques

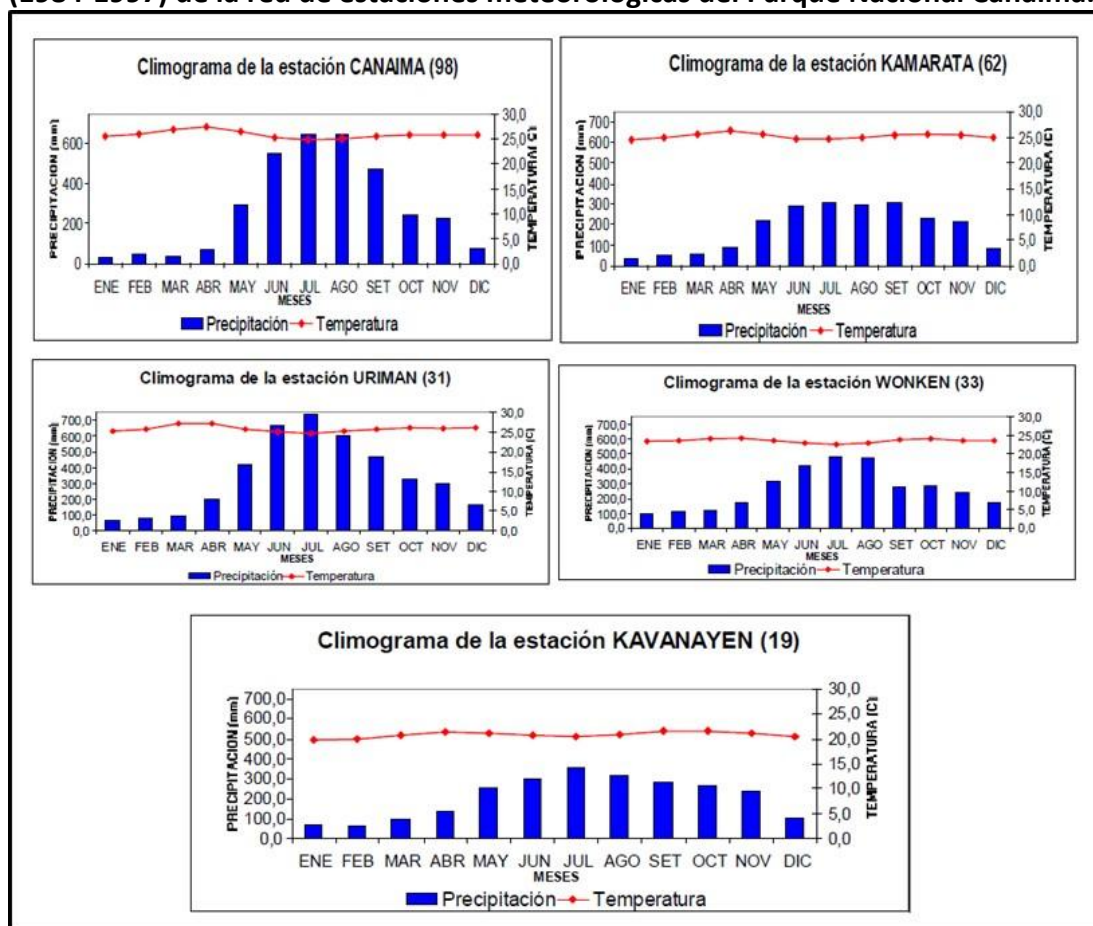


Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto importante a destacar en el PNC con respecto a la distribución temporal de la actividad del fuego es la relación área quemada y la precipitación mensual. Como se indicó anteriormente en el PNC existe una correlación en sentido inversa (negativa) entre la precipitación mensual y el área total quemada, expresada por el coeficiente de *Pearson* en $r = -0,64$.

Este patrón en la distribución anual de las áreas quemadas, que se relaciona con la estacionalidad de las precipitaciones en el Parque, ha sido consistente durante un período histórico de más de 30 años. Como puede observarse en el Gráfico 5.2, el régimen de precipitación anual es unimodal, con un período lluvioso entre mayo y noviembre; y otro seco entre diciembre y abril, el cual coincide con la distribución anual de las áreas quemadas, durante el periodo de estudio.

GRÁFICO 5.2. Climograma de temperatura del aire y precipitación media mensual (1984-1997) de la red de estaciones meteorológicas del Parque Nacional Canaima.



Fuente: Rivera-Lombardi (2006).

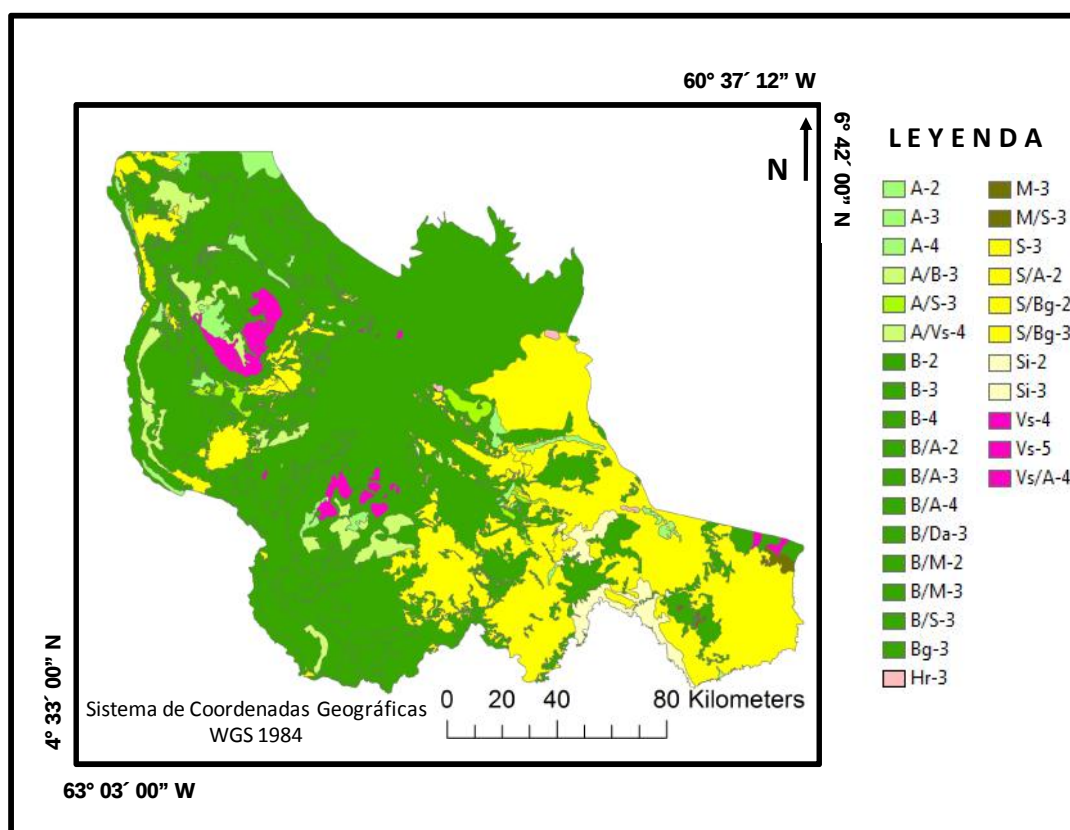
Es importante señalar que esta correlación entre el patrón de distribución anual de las áreas quemadas y el régimen de precipitación mensual en el PNC se corresponde con los obtenidos por Salazar *et al.* (2018) en la región de la Gran Sabana, donde se comprobó que la sequía contribuye con el aumento de la frecuencia de quemadas; y que la severidad y frecuencias de los incendios forestales en la región de estudio ocurren como producto de la sincronía de factores ecosistémicos, como los eventos climáticos de ENOS y AMO, entre otros factores. Cabe destacar, además, la influencia de los eventos ENOS sobre la extensión y magnitud de los períodos secos en el PNC, como demostrado por Paredes *et al.* (2016). Estos autores encontraron una correlación entre las sequías de gran cobertura y larga duración (> 4 meses) con los episodios El Niño.

Igualmente, los resultados obtenidos por Libonati *et al.* (2015), mostraron que la variabilidad intra e interanual de las áreas quemadas estimadas en la región de las Sabanas brasileras (Cerrado) concuerdan con el régimen de precipitación. Resultados similares fueron obtenidas por Bilbao *et al.* (2015), quienes demostraron que la mayor incidencia de incendios forestales observada a escala nacional, en los años 2005, 2007, 2010 y 2015, se relaciona con los años de actividad de ENSO, triplicándose o cuadruplicándose la superficie del área quemada en relación a años no ENSO (Cuadro. 5.4); así como con la presencia de períodos de sequía que se han extendido por varios años, como por ejemplo entre los años 2009-2010 y 2013-2016 (Inameh, 2016).

5.1.2.2. Distribución y extensión de la vegetación afectada por la actividad del fuego

La distribución y cuantificación de las áreas quemadas en cada una de las formaciones vegetales del PNC se presentan en el Cuadro 5.7. Este procedimiento resultó del cruce de las áreas quemadas de cada año del período de estudio (2015 y 2016) con el mapa de vegetación de Delgado *et al.* (2009), actualizado para el año 2014 (Figura 5.6). En términos generales, se puede afirmar que la formación vegetal más extendida en el PNC es la boscosa, ocupando cerca del 57% de su cobertura vegetal (1.629.336,91 ha), seguida del bioma Sabana con el 25,55% (728.322,66 ha); y ambas coberturas cubren el 82,72% del total de las formaciones vegetales del Parque.

FIGURA 5.6. Mapa de vegetación actualizado (2014)



Fuente: Actualizado de Delgado *et al.* (2014). Nombre de las clases de formaciones vegetales en el Cuadro 5.5.

En relación a las fisionomías afectadas por la actividad del fuego en el PNC, se puede observar en el Cuadro 5.7 que del total de la superficie quemada durante el período de estudio, el bioma Sabana (sabana, sabana inundable y herbazal) es el más afectado por el fuego con 73.293,84 ha y 78.549,78 ha (91,94% y 92,08%, respectivamente para 2015 y 2016). Cabe destacar que este resultado es consistente, en términos relativos, con la incidencia del fuego en ambos períodos de estudio. Por otro lado, se observa un incremento importante de la superficie quemada en la formación boscosa para el año 2016, en relación a 2015, de 985,86 ha (51,35% de más). De ello, se infiere que haya sido influenciado por quemas que se iniciaron en las sabanas y superaron el límite sabana-bosque, afectando las formaciones boscosas aledañas. Esto, en virtud de la disminución en el contenido de humedad del bosque, como resultado de 4 años consecutivos de sequía prolongada (2013-2016), sumado a la intensa actividad de ENSO en 2015.

Es importante destacar, además, la alta densidad de áreas quemadas que presentan las formaciones de sabana inundada (morichal) (18,09 y 15,83) y la asociación sabana arbustal (20,14 y 10,28), respectivamente para 2015 y 2016. Ello, pudiera indicar que estas formaciones vegetales están siendo quemadas con mayor intensidad, en relación al resto de las formaciones, comprometiendo su grado de adaptación y resistencia al fuego.

CUADRO 5.7. Tipos de vegetación y superficie con las correspondientes áreas quemadas (ha) en el Parque Nacional Canaima (absoluta y relativa).

FORMACIONES VEGETALES	Código	Superficie Formaciones Vegetales (ha)	% Superficie Formaciones Vegetales	Período de quema 2015		Período de quema 2016		Densidad de quemas por formación vegetal (2015)	Densidad de quemas por formación vegetal (2016)
				Área Quemada (ha)	% de la Formación Vegetal Quemada	Área Quemada (ha)	% de la Formación Vegetal Quemada	(área quemada/superficie total de la formación vegetal*100)(2015)	(área quemada/superficie total de la formación vegetal*100) (2016)
Bosque	B	1.629.336,91	57,17	1.919,96	2,41	2.905,83	3,41	0,12	0,18
Arbustal	A	66.604,19	2,34	935,03	1,17	353,41	0,41	1,40	0,53
Matorral	M	1.497,05	0,05	104,78	0,13	85,71	0,10	7,00	5,73
Sabana	S	728.322,66	25,55	63.795,12	80,03	70.635,77	82,81	8,76	9,70
Sabana inundable (Morichal)	SI	49.541,58	1,74	9.456,53	11,86	7.840,21	9,19	19,09	15,83
Herbazal	Hr	3.182,48	0,11	42,19	0,05	73,80	0,09	1,33	2,32
Vegetación saxícola	Vs	30.167,59	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Asociación bosque y arbustal	B/A	64.773,92	2,27	136,87	0,17	102,67	0,12	0,21	0,16
Asociación bosque y matorral	B/M	94.460,18	3,31	765,92	0,96	500,89	0,59	0,81	0,53
Asociación bosque y sabana	B/S	33.339,26	1,17	547,10	0,69	1.066,61	1,25	1,64	3,20
Asociación Bosque y descubierto de vegetación	B/Da	131,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Asociación arbustal y bosque	A/B	43.808,12	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Asociación arbustal y sabana	A/S	20.694,72	0,73	273,72	0,34	633,65	0,74	1,32	3,06
Asociación arbustal y vegetación saxícola	A/Vs	44.007,83	1,54	12,04	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00
Asociación matorral y sabana	M/S	5.409,36	0,19	0,00	0,00	223,40	0,26	0,00	4,13
Asociación sabana y arbustal	S/A	8.572,05	0,30	1.726,77	2,17	880,90	1,03	20,14	10,28
Asociación vegetación saxícola y arbustal	Vs/A	26.352,46	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL		2.850.201,67	100,00	79.716,03	100,00	85.302,85	100,00		

5.2 Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la quema de biomasa vegetal

Emisiones atmosféricas brutas de CO_2 fueron estimadas a partir de la cuantificación de áreas quemadas en cada uno de los tipos de vegetación del PNC, utilizando datos del satélite Landsat-8/OLI. Posteriormente, estas emisiones de CO_2 se utilizaron como gas de referencia para estimar la masa total de otras especies químicas (CO e NO_x) aplicando un cociente de emisión ($RECO$ y $RENO_x$). Los resultados de las estimaciones de emisiones atmosféricas para cada período de estudio (2015 y 2016) se presentan en los Cuadros 5.8 y 5.9.

CUADRO 5.8. Estimaciones de emisiones atmosféricas brutas (CO_2 , CO y NO_x) en el Parque Nacional Canaima durante el período seco 2015.

Formación Vegetal	Código	A (2015)	BC	$A \times BC$	FBV	E	EC	$M(CO_2)$ (Tg/año)	RECO	$M(CO)$ (Tg/año)	RENO _x	$M(NO_x)$ (Tg/año)
Bosque	B	1.919,96	86,45	165.980,97	0,70	0,50	0,88	0,05112	0,081419	0,004162	0,017000	0,000071
Arbustal	A	935,03	20,25	18.934,34	0,80	0,89	0,94	0,01267	0,051774	0,000656	0,030000	0,000020
Matorral	M	104,78	20,25	2.121,78	0,80	0,89	0,94	0,00142	0,051774	0,000074	0,030000	0,000002
Sabana	S	63.795,12	15,39	981.806,84	0,05	0,95	0,96	0,04477	0,039916	0,001787	0,037000	0,000066
Sabana inundable (Morichal)	SI	9.456,53	15,39	145.536,01	0,70	0,89	0,94	0,08523	0,05177	0,004413	0,034000	0,000150
Herbazal	Hr	42,19	15,39	649,27	0,70	0,89	0,94	0,00038	0,05177	0,000020	0,034000	0,000001
Asociación bosque y arbustal	B/A	136,87	53,35	7.302,04	0,70	0,50	0,88	0,00225	0,081419	0,000183	0,017000	0,000003
Asociación bosque y matorral	B/M	765,92	53,35	40.861,70	0,70	0,50	0,88	0,01259	0,081419	0,001025	0,017000	0,000017
Asociación bosque y sabana	B/S	547,10	50,92	27.858,49	0,70	0,50	0,88	0,00858	0,081419	0,000699	0,017000	0,000012
Asociación arbustal y sabana	A/S	273,72	17,82	4.877,71	0,80	0,89	0,94	0,00326	0,051774	0,000169	0,030000	0,000005
Asociación arbustal y vegetación saxicola	A/Vs	12,04	20,25	243,76	0,80	0,89	0,94	0,00016	0,051774	0,000008	0,030000	0,000000
Asociación sabana y arbustal	S/A	1.726,77	17,82	30.771,10	0,05	0,95	0,96	0,00140	0,039916	0,000056	0,037000	0,000002
TOTAL		79.716,03						0,223840		0,013251		0,000349

A = Área quemada (ha)

BC = Densidad total de CO_2 en la biomasa

FBV = Fracción de la biomasa viva por encima del suelo

E = Eficiencia de la quema

EC = Eficiencia de la combustión

$M(CO_2)$: masa total de CO_2 emitida

RECO = Cociente de emisión (cociente entre la concentración de CO y la concentración de una especie de referencia (CO_2) emitida durante la quema (CO/CO_2))

RENO_x = Cociente de emisión (NO_x/CO)

Fuente: BC (MCT, 2012); FBV (Ottomar et al., 1988; 1988a; 2000 y 2001); E (MCT, 2002; Fearnside, 2000 y Hoelzemann, 2004);

EC y RECO (Cofer et al., 1990; Ward et al., 1992; Hao e Ward, 1993; Kauffman et al., 1994; Delmas et al., 1996

y Lacaux et al., 1996); y RENO (Hoelzemann, 2004).

CUADRO 5.9. Estimaciones de emisiones atmosféricas brutas (CO_2 , CO y NO_x) en el Parque Nacional Canaima durante el período seco 2016.

Formación Vegetal	Código	A (2016)	BC	A x BC	FBV	E	EC	M(CO_2) (Tg/año)	RECO	M(CO) (Tg/año)	RENO _x	M(NO_x) (Tg/año)
Bosque	B	2.905,83	86,45	251.208,68	0,70	0,50	0,88	0,07737	0,081419	0,006300	0,017000	0,000107
Arbustal	A	353,41	20,25	7.156,48	0,80	0,89	0,94	0,00479	0,051774	0,000248	0,030000	0,000007
Matorral	M	85,71	20,25	1.735,62	0,80	0,89	0,94	0,00116	0,051774	0,000060	0,030000	0,000002
Sabana	S	70.635,77	15,39	1.087.084,51	0,05	0,95	0,96	0,04957	0,039916	0,001979	0,037000	0,000073
Sabana inundable (Morichal)	SI	7.840,21	15,39	120.660,88	0,70	0,89	0,94	0,07066	0,05177	0,003658	0,034000	0,000124
Herbazal	Hr	73,80	15,39	1.135,79	0,70	0,89	0,94	0,00067	0,05177	0,000034	0,034000	0,000001
Asociación bosque y arbustal	B/A	102,67	53,35	5.477,51	0,70	0,50	0,88	0,00169	0,081419	0,000137	0,017000	0,000002
Asociación bosque y matorral	B/M	500,89	53,35	26.722,55	0,70	0,50	0,88	0,00823	0,081419	0,000670	0,017000	0,000011
Asociación bosque y sabana	B/S	1.066,61	50,92	54.311,82	0,70	0,50	0,88	0,01673	0,081419	0,001362	0,017000	0,000023
Asociación arbustal y sabana	A/S	633,65	17,82	11.291,58	0,80	0,89	0,94	0,00756	0,051774	0,000391	0,030000	0,000012
Asociación arbustal y vegetación saxicola	A/Vs	223,40	20,25	4.523,89	0,80	0,89	0,94	0,00303	0,051774	0,000157	0,030000	0,000005
Asociación sabana y arbustal	S/A	880,90	17,82	15.697,65	0,05	0,95	0,96	0,00072	0,039916	0,000029	0,037000	0,000001
TOTAL		85.302,85						0,242168		0,015025		0,000369

A = Área quemada (ha)

BC = Densidad total de CO_2 en la biomasa

FBV = Fracción de la biomasa viva por encima del suelo

E = Eficiencia de la quema

EC = Eficiencia de la combustión

M(CO_2) : masa total de CO_2 emitida

RECO = Cociente de emisión (cociente entre la concentración de CO y la concentración de una especie de referencia (CO_2) emitida durante la quema (CO/CO_2))

RENO_x = Cociente de emisión (NO_x/CO)

Fuente: **BC** (MCT, 2012); **FBV** (Ottomar et al., 1988; 1988a; 2000 y 2001); **E** (MCT, 2002; Fearnside, 2000 y Hoelzemann, 2004);

EC y RECO (Cofer et al., 1990; Ward et al., 1992; Hao e Ward, 1993; Kauffman et al., 1994; Delmas et al., 1996

y Lacaux et al., 1996); y **RENO** (Hoelzemann, 2004).

Los resultados obtenidos (Cuadros 5.8 y 5.9) totalizan (respectivamente para 2015 y 2016): 0,22384 y 0,24216 Tg/año de CO_2 (como gas de referencia); 0,01325 y 0,01502 Tg/año de CO ; y 0,00035 y 0,00037 Tg/año de NO_x . Estos resultados no pudieron ser contrastados con estudios similares para el PNC, o para otras áreas que lo contengan (p. ej. la cuenca del Caroní o la región de la Guayana Venezolana), debido a la inexistencia de datos regionales específicos sobre emisiones de GEI que pudiesen favorecer la comparación de los resultados obtenidos en este estudio.

No obstante, estos resultados se compararon con estimaciones de emisiones atmosféricas, específicamente de CO , en biomas de Sabanas y Bosques del continente

americano para los años 2000 y 2005, a fin de obtener una percepción no conclusiva sobre la precisión de las estimaciones realizadas en este estudio.

El Cuadro 5.10 muestra las estimaciones de emisiones de CO utilizando diferentes productos orbitales para la cuantificación de superficies quemadas a escala continental y global, los cuales se valen de la información contenida tanto en la región óptica del espectro electromagnético para detectar las áreas quemadas (producto P1 y P2) como de la región del infrarrojo medio y/o térmico para la detección de fuegos activos (P3 a P10).

CUADRO 5.10. Comparación de las estimaciones brutas de CO (2015 y 2016) con otros modelos de emisiones continentales y globales (2000 y 2005), en Tg ($1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g.}$)

Productos para cuantificación de superficies quemadas (año de estimación)	Resolución espacial y región del espectro electromagnético	REGIÓN/Superficie			
		Parque Nacional Canaima (29.003 km ²)	Amazonía y Sabanas brasileras (6.234.000 km ²)	América Tropical (4.158.473 km ²)	América del Sur (17.840.000 km ²)
P1 (2015 y 2016) (Tg/año)	30m - óptica	0,013 (2015) 0,015 (2016)			
Densidad*		0,46 (2015) 0,52 (2016)			
P2 (2005) (Tg/año)	500m - óptica		8,11		
Densidad*			1,3		
P3 (2005) (Tg/año)	1km - infrarrojo medio		13,19		
Densidad*			2,12		
P4 (2005) (Tg/año)	1km - infrarrojo medio y térmico		33,34		
Densidad*			5,38		
P5 (2000) (Tg/año)	1km - infrarrojo medio			19,3	
Densidad*				4,64	
P6 (2000) (Tg/año)	1km - infrarrojo medio			14,8	
Densidad*				3,56	
P7 (2000) (Tg/año)	1km - infrarrojo medio			32,9	
Densidad*				7,76	
P8 (2000) (Tg/año)	1km - infrarrojo térmico				19,83
Densidad*					1,11
P9 (2000) (Tg/año)	1km - infrarrojo medio y térmico				20,85
Densidad*					1,17
P10 (2000) (Tg/año)	1km - óptica e infrarrojo medio y térmico				98,63
Densidad*					5,53

*Densidad (CO /km²) x 1.000.000

P1= Landsat-8/OLI (EOS, 2015 y 2016)

P2= MCD45. NASA (2005)

P3= Detección Focos de Calor (INPE, 2005)

P4= MCD14. NASA (2005)

P5= ISAM-GLOBSCAR. Jain (2007).

P6= ISAM-GBA. Jain (2007).

P7= ISAM-TRIM. Jain (2007).

P8= GWEN-1.2 (IGBP). Hoelzemann *et al.* (2004).

P9= GWEN-1.2 (MODIS). Hoelzemann *et al.* (2004).

P10= MOZART (ATSR). Hoelzemann *et al.* (2004).

En el Cuadro 5.10 se puede observar que los valores de *CO* obtenidos con productos de detección de fuegos activos (P3 a P10) están por encima de los obtenidos para la detección de áreas quemadas (P1, utilizado en este estudio; y P2 utilizado por la Nasa); es decir, aproximadamente un factor entre 2,4 y 15 veces más. Asimismo, se observa que existe discrepancia en las estimaciones de emisiones de *CO* entre los diferentes modelos utilizados para la detección de fuegos activos en una misma región del planeta (P3 a P10). Es importante señalar que estos modelos (P3 a P10) se caracterizan por la cuantificación de las áreas quemadas derivadas del número de focos de calor (indicadores de posibles fuegos activos) con resoluciones kilométricas (1 a 5 km) los cuales, aun cuando no reflejan la verdadera dimensión de la actividad del fuego, han sido ampliamente utilizados por la comunidad científica para estimar emisiones de GEI en estudios continentales y globales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología desarrollada en esta investigación permitió identificar el patrón de distribución de las áreas quemadas y el tipo de vegetación afectada por la actividad del fuego en el Parque Nacional Canaima. Por lo tanto, puede ser replicada por los organismos con competencia en materia de protección y control de incendios forestales en todo el sistema de áreas protegidas, o en todo el territorio nacional, inclusive por otros estudios que aborden problemas similares. Con ello, se podrán establecer las políticas públicas y planes de manejo integral del fuego como herramienta fundamental para la gestión ambiental.

Los resultados demostraron que las imágenes del sensor Landsat-8/OLI (mediana resolución espacial) son adecuados para la identificación y cuantificación de las áreas quemadas a escala regional o local, sin embargo es importante destacar la limitación que tienen todos los sensores ópticos de baja o mediana resolución temporal (p. ej. revisita de 16 días de los satélites de la serie Landsat) en áreas con alta cobertura de nubes, ya que éstas obstaculizan la identificación de las áreas quemadas. En este sentido, se recomienda que en aquellas áreas del territorio con alta cobertura de nubes, se utilicen otros sensores con características operativas y orbitales adecuadas a las condiciones atmosféricas, a fin de complementar la información de las áreas quemadas faltantes al momento del paso del satélite, como lo es el uso de sensores ópticos de alta resolución temporal, a ejemplo del MODIS o el Sentinel 2 (3 y 5 días de revisita, respectivamente).

La cuantificación de las áreas quemadas en el Parque Nacional Canaima expresadas en los reportes oficiales son significativamente más bajas que las obtenidas en este estudio, a partir de las imágenes del sensor Landsat-8/OLI. Una revisión de la metodología y de los procedimientos utilizados para generar los reportes oficiales indicó que existe una subestimación significativa de las áreas quemadas. Por lo tanto, estos reportes deben considerar el uso de imágenes orbitales de mediana resolución espacial, conjuntamente con la implementación de un sistema de información geográfica para el monitoreo y cuantificación de la actividad del fuego.

Las estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero obtenidas en este estudio resultaron más bajas que las estimadas por otros modelos globales, basados en productos de detección de fuegos activos con baja resolución espacial. Ello sugiere que las estimaciones de la extensión de las superficies quemadas y las emisiones atmosféricas brutas resultantes, son fuertemente dependientes de los productos orbitales utilizados para su detección, específicamente en relación a la resolución espacial y a la región del espectro electromagnético donde se detecta la información reflejada o emitida por la superficie terrestre. En este sentido, los productos futuros de detección de áreas quemadas a escala global deberían basarse en el uso de sensores múltiples y combinar la detección de los focos de calor (fuego activo) con información del área quemada, a fin de suministrar estimaciones de emisiones atmosféricas más precisas.

Finalmente, en virtud de la urgente necesidad de formular y adoptar medidas y acciones para la gestión de riesgo, la adaptación y la mitigación ante los efectos del cambio climático global en el Parque Nacional Canaima, se requiere de la implementación de planes y programas que favorezcan la disminución de los incendios forestales (fuego sin control). Para ello, se hace indispensable la integración del conocimiento ancestral Pemón con el conocimiento académico y las capacidades de las instituciones públicas, a fin de lograr el manejo integral del fuego en el Parque Nacional Canaima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arens, K. (1958). *Considerações sobre as causas do xeromorfismo foliar*. Boletim Faculdade de Filosofia. Universidade de São Paulo, v. 15, n. 22, p. 23-56, 1958.

Adámoli, J.; Fukuhara, H.; Silva, J.A. (1983). *Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimas em pastagens nativas da região dos cerrados*. Planaltina,

Ablan, M., Marianela, D., Hoeger, H., Rivas, E., Zerpa, F. (2007). APOK: *Un sistema para estimar el riesgo de incendios en la cuenca alta del río Caroní*. Ponencia Presentada en el VII Congreso Venezolano de Ecología, Puerto Ordaz, Noviembre 2007.

Acta Terramaris. (1993). *Informe técnico sobre los tepuyes. Formación Roraima, Venezuela*. Fundación Terramar. Caracas, No. 6, pp 1-74.

Ahern, F. J.; Goldammer, J. C.; Justice, C. O. (2001). *Global and regional vegetation fire monitoring from space: planning a coordinated international effort*. The Hague: SPB, Acad. Publ.

Ahti, T. (1992). *La flora: Plantas inferiores*. En: O. Huber (ed.). El Macizo del Chimantá, Escudo de Guayana, Venezuela: Un Ensayo Ecológico Tepuyano. Pp. 133-138. Oscar Todtmanm Editores. Caracas. Venezuela.

Anderson, H. E. (1982). *Aids to determine fuel models for estimating fire behavior*. USDA Forest Fire Service. Ogden UT: Intermountain Forest and Range Experiment Station General, 1982. 22 p. Technical Report INT-122.

Andreae, M. O. (1991). *Biomass burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate*. In: Levine, J.S. (ed.). Global biomass burning: atmospheric, climatic, and biospheric implications. Cambridge: MITPress, 1991. Cap. 1, p. 3-121.

Andreae, M. O.; Andreae, T. W.; Annegarn, H.; Beer, J.; Cachier, H.; Le Canut, P.; Elbert, W.; Maenhaut, W.; Salma, I.; Wienhold, F. G.; Zenker, T. (1998). *Aierborne studies of aerosol emissions from savannas fires in Southern Africa: 2. Aerosol chemical composition*. Journal of Geophysical ResearchAtmosphere, v.103, p. 32119-32128.

Andreae, M. O.; Merlet, P. (2001). *Emission of trace gases and aerosol from biomass burning*. Global Biogeochemical Cycles, v.15, n.4, p. 955-966.

Arens, K. (1958). *Considerações sobre as causas do xeromorfismo foliar*. Boletim Faculdade de Filosofia. Universidade de São Paulo, v. 15, n. 22, pp. 23-56.

Arino, O; Piccolini, I.; Siegert, F.; Eva, H.; Chuvieco, E.; Martin, P.; Li, Z.; Fraser, R. H.; Kasischhe, E.; Roy, D.; Pereira, J.; Stroppiana, D. (2000). *Burns scars mapping methods*. En: Ahern, F.; Grégorie, J.M.; Justice, C. (eds.). Forest fire monitoring and mapping: a

component of global observation of forest cover. [S.l]: European Commission Joint Research Centre, 2000.p. 198-223.

Barbosa, P. M.; Grégoire, J.; Pereira, J. M. (1999). *An assessment of vegetation fire in Africa (1981-1991): Burned areas, burned biomass, and atmospheric emissions*. Global Biogeochemical Cycles, v.13 n.4, p. 933-950.

Belward, A. S.; Kennedy, P. J.; Gregoire, J. M. (1994). *The limitations and potential of AVHRR GAC data for continenta scale fire studies*. International Journal of Remote Sensing, v.15, n.11, p. 2215-2234.

Berger R. y Libby, W. F. (1966) *UCLA Radiocarbon Dates V*. Radiocarbon 8: 467–497

Berry, P. E.; Huber, O. y Holst, B. (1995). *Floristic Analysis and Phyto-geography*. En: P. Berry, B. Holst, y K. Yatskievych (eds.). *Flora of the Venezuelan Guayana*. Volume I. Introduction. Portland, Oregon: The Missouri Botanical Garden. Pp. 161-170.

Bilbao B., Leal, A., Méndez, C. and Delgado-Cartay, M. D. (2009). *The role of fire on vegetation dynamics of upland savannas of the Venezuelan Guayana*, in: Cochrane, M. A. (ed.), *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics*. Heidelberg, Germany: SpringerPraxis.

Bilbao, B., Leal, A. and Mendez, C. (2010). *Indigenous use of fire and forest loss in Canaima National Park, Venezuela: Assessment of and tools for alternative strategies of fire management in Pemón indigenous lands*. Human Ecology, 38 (5): 663-673.

Bilbao, B.; Rivera-Lombardi, R.; Aguilar V. (2015). *Análisis comparativo entre focos de calor detectados con el satélite MODIS/Aqua y la ocurrencia de incendios forestales en Venezuela (2000-2014)*. En: XI Congreso Venezolano de Ecología. Porlamar, del 09 al 12 de noviembre de 2015.

Box, E. O.; Holben, N.; Kalb, V. (1989). *Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary production and net CO₂ flux*. Vegetation, v.80, p. 71-80.

Brockett, B.H.; Biggs, H.C.; Wilgen van B.W. (2001). *A patch mosaic burning system for conservation areas in southern African savannas*. International Journal of Wildland Fire, 10, 169-183.

Bronw, S. y Lugo A., P. M. (1986). *Brazil's Amazon forest and the global carbon problem*, to Letter to the Editor. Interciência, v.11, n.2, p. 57-58, 1986.

Burgan, R. E. y Rothermel, R. C. (1984). *BEHAVE. Fire behavior prediction and fuel modeling system-FUEL subsystem*. Ogden, UT: USDA Forest Fire Service. Intermountain Research Station, 1984. Technical Report INT-167.

Carvalho, J. A.; Costa, F.; Veras, C.; Sandberg, D.; Alvarado, E.; Gielow, R.; Serra, A.; Santos, J. (2001). *Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing*

experiments conducted in northern Mato Grosso, Brazil. Journal of Geophysical Research-Atmosphere, v.106, p. 17877-17887.

Carvalho, V.; Shimabukuro, Y.; Santos, J.; Filho, P. (1990). *Subsídios do sensoriamento remoto para manejo florestal: estado atual da arte e perspectivas*. Congresso Florestal Brasileiro, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990.

Ceccato, P.; Flasse, S.; Tarantola, S.; Jacquemoud, S.; Grégoire, J. M. (2001). *Detecting Vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain*. Remote Sensing of Environment, v.77, p. 22-23.

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Ediciones Rialp. 568 p.

Chuvieco, E.; Aguado, I.; Cocero, D.; Riaño, D. (2003). *Design of an empirical index to estimate fuel moisture content from NOAA-AVHRR analysis in forest fire danger studies*. International Journal of Remote Sensing, v.24, n.8, p. 1621-1637.

Chuvieco, E.; Cocero, D.; Aguado, I.; Palacios-Orueta, A.; Prado, E. (2004). *Improving burning efficiency estimates through satellite assessment of fuel moisture*. Journal of Geophysical Research, v.109, n.14, p. d14S07.

Conard, S. G.; Sukhinin, A. I.; Stocks, B. J.; Cahoon, D. R.; Davidenko, E. O.; Ivanova, G. A. (2002). *Determining effects of area burned and severity on carbon cycling and emission in Siberia*. Climatic Change, v.55, p. 197-211.

Corporación Nacional de Hotelería y Turismo (CONAHOTU). (1972). *Parque Nacional Canaima (Gran Sabana) - Plan Rector*. Ministerio de Agricultura y Cria y National Park Service. Caracas. Venezuela.

Corporación Venezolana de Guayana (CVG) - Técnica Minera C.A. (TECMIN). (1989). *Proyecto inventario de los recursos naturales de la Región Guayana*. Informes de Avance. Clima, Geología, Geomorfología, Suelos, Vegetación. Tomos I y II: Mapas a escala 1:250.000. Ciudad Bolívar. Venezuela.

Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC-EDELCA) (2008). *La Cuenca del río Caroní. Una visión en cifras*, Corporación Eléctrica Nacional/EDELCA, Puerto Ordaz, Venezuela.

Coutinho, L. M. (1981). *Aspectos ecológicos do fogo no cerrado. Nota sobre a ocorrência e datação de carvões vegetais encontrados no interior do solo, em Emas, Pirassununga, SP*. Revista Brasileira de Botânica, v. 4, n. 12, p. 115-117.

Coutinho, L. M. (1990a). *Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado*. In: Goldammer, J.G. (ed.). Fire in the tropical biota. New York: Springer-Verlag. Cap. 6, p. 82-105. (Ecological Studies, 84).

- Coutinho, L. M. (1990b). *O Cerrado e a ecologia do fogo*. Ciência Hoje, v. 12, n. 68, p. 22-30.
- Crutzen, P. J.; Heidt, L. E.; Krasnec, J. P.; Pollock, W. H.; Selier, W. (1979). *Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃CL and CO₂*. Nature, n. 282, p.253-256.
- Crutzen, P. J.; Andreae, M. O. (1990). *Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles*. Science, n. 250, p. 1669-1678.
- Corporación Venezolana de Guayana (CVG-EDELCA) (2004). *Plan Maestro de la cuenca del río Caroní*. Electrificación del Caroní C.A. Puerto Ordaz, Venezuela.
- Corporación Venezolana de Guayana (CVG-EDELCA) (2003). Gerencia de Gestión Ambiental. Unidad de Sistemas de Información Ambiental. Puerto Ordaz, Venezuela.
- Corporación Venezolana de Guayana (CVG) – Técnica Minera C. A. (TECMIN). (1998). *Proyecto inventario de los recursos naturales de la Región Guayana*. Informe de Avance. Clima, Geología, Geomorfología, Suelos, Vegetación. Tomos I y II: Mapas a escala 1:250.000. Ciudad Bolívar.
- Delgado, L.; H. Castellanos y M. Rodríguez (2009). *Capítulo 2. Vegetación del Parque Nacional Canaima*. Pp. 41 - 75. En: Señaris, J.C., Lew D. y Lazo, C. (eds.). 2009. Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para La conservación de La Guayana venezolana. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.
- Deshler, W. (1974). *An examination of the extent of fire in the grassland and savanna of Africa along the southern side of the Sahara*. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 9., Ann Arbor, MI, 15-19 abr., 1974. Proceedings... Ann Arbor, MI: ERIM, v. 1, p. 23-30.
- Duncan, B. N.; Randall V. N.; Amanda, C. S.; Rosemarie, Y.; Jennifer A. L. (2003). *Interannual and seasonal variability of biomass burning emissios constrained by satellite observations*. Journal of Geophysical Research, v.108, n.D2, p. ACH 1-22, 2003.
- Drude, O. (1897). *Manual de Geographie Botanique*. Librairie des Sciences Naturalles. Paris, p. 552.
- Eloy, L., Bilbao, B., Mistry, J., Schmidt, I. (2017). *From fire suppression to fire management: advances and resistances to changes in fire policy in the savannas of Brazil and Venezuela*. The Geographical Journal (In Press).
- Elvidge, C. D. (1988). Thermal infrared reflectance of dry plant materials: 2.5 – 20.0 micrometers. Remote Sensing of Environment, v.16, p. 265-285.

EVA, H. y Lambin, E. F. (1998). *Remote sensing of biomass burning in tropical regions: sampling issues and multisensor approach*. Remote Sensing of Environment, v.64, p. 292-315.

Eva, H. (2000). *Monitoring of tropical fires and their impact on land cover using remote sensing techniques*. 145 p. Tesis (Doctorado en Ciencias) - Departement de Géologie et de Géographie, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 2000.

Fearnside, P. M. (1985). *Burn quality prediction for simulation of the agriculture tem of Brazil's Transamazon highway colonist for estimating human carrying capacity*. In: MISRA K. C.; PANDEY H. V.; GOVIL J. V. (eds.) Ecology and resource management in the tropic. Varanasi, India: International Society for Tropical Ecology.

Ferguson, S. A.; Sandberg, D. V. Ottmar. (2000). *Modeling the effect of landuse changes on global biomass emissions*. In: INNES, J. L.; BENISTON, M.; VERSTARETE, M. M. (eds.). Biomass burning and its inter-relationships with the climate system. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 33-50.

Finney M. A. (1998). *FARSITE users guide and technical documentation*. Fort Collins, CO: USDA Forest Fire Research Paper RMRS-RP-4, 1998. 47 p.

Flantua, S.; Bilbao, B.; Rosales, J. (2013). *Indigenous land use and land cover changes in the National Park of Canaima, Venezuela: Pemón Sector II Kamarata*. In: Escudo Guianes - Biodiversidade, conservacao dos recursos naturais e cultura. Lopes L.; Silveira da Costa, A.; Baptista, E. (Organizadores). Editora do NAEA-GSF. Belem-Georgetown.

Folster, H y Huber, O. (1984). *Interrelaciones suelo-vegetación en el área de Galipero, Territorio Federal Amazonas, Venezuela*. Caracas, D.F. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, p. 135 (Series Informes Técnicos DGSIIA/IT/144).

França, H. (2001). *Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA*. 121 p. Tesis (Doctorado en Ciencias) – Instituto de Biociencias da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Frederiksen, P.; Langaas, S.; Mbaye M. (1990). *NOAA-AVHRR and GIS-based monitoring of fire activity in Senegal – a provisional methodology and potential applications*. En: Goldammer, J.G., ed. Fire in the tropical biota. New York: Springer-Verlag, 1990. Cap. 17, p. 400-436. (Ecological Studies, 84).

Fiedl, M. A.; Michaelsen, J.; Davis F. W.; Walker H.; Schimel D. S. (1994). *Estimating grassland biomass and leaf area index using ground and satellite data*. International Journal of Remote Sensing, v.15 n.7, p. 1401-1420.

Frost, P.; Medina, E.; Menaut, J-C.; Solbrig, O.; Swift, M.; Walker, B. (1986). *Responses of savannas to stress and disturbance*. Biol. Int. 10: 1-82.

Fuller, S. P. y Rouse, W. R. (1979). *Spectral reflectance changes accompanying a post-fire recovery sequence in a subarctic spruce-lichen woodland*. Remote Sensing of Environment, v. 8, n. 1, p. 11-23.

Gabaldón, A. (2008). *El cambio climático y sus posibles efectos sobre Venezuela*. Revista Humanía del Sur. Año 3, Nº 4. Enero-junio, 2008. pp 13–32.

Gestión Intercultural para el Manejo Participativo del Fuego - GIMPAFU. (2015). *I Encuentro e Intercambio de Saberes para la Gestión Intercultural del Manejo Participativo del Fuego*. Organizadores: Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MPPEA) – Universidad Simón Bolívar (USB) – Royal Holloway University of London. Estación Científica Parupa. Gran Sabana, Estado Bolívar. Venezuela. 08 al 11 de julio de 2015.

Gestión Intercultural para el Manejo Participativo del Fuego - GIMPAFU. (2017a). *I Taller de trabajo: “Diseño de planes de acción en cambio climático integrando las perspectivas desde lo local indígena con la academia y las instituciones en el Parque Nacional Canaima”*. Organizadores: Embajada Británica (Caracas) – Universidad Simón Bolívar (USB) – Royal Holloway University of London. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas. Venezuela. 23 al 25 de enero de 2017.

Gestión Intercultural para el Manejo Participativo del Fuego - GIMPAFU. (2017b). *II Taller de trabajo: “Desarrollo de herramientas interculturales y participativas para la implementación de planes de acción de mitigación y adaptación al cambio climático en el Parque Nacional Canaima”*. Organizadores: Instituto de Investigaciones Científicas (IVIC), Universidad Simón Bolívar (USB), Royal Holloway University, la Embajada Británica, el Instituto Nacional de Parques (INPARQUES). Estación de Bomberos Forestales “Pajaritos” - Inparques. Caracas. Venezuela. 27 de noviembre al 02 de diciembre de 2017.

Gobernación del Estado Bolívar. (1996). *Plan de Ordenación Turístico-Recreacional para el Estado Bolívar*. Sector Municipio Gran Sabana. Ciudad Bolívar.

Gómez, E., Picón, G. and Bilbao, B. (2000). *Los incendios forestales en Iberoamérica. Caso Venezuela*. In: La defensa contra incendios forestales. fundamentos y experiencias. R. Vélez-Muñoz (ed.). McGraw-Hill, Madrid.

Griffin, J. J. y Goldberg, E. D. (1979). *Morphologies and origin of elemental carbon in the environment*. Sciences, v. 206, n. 4418, p. 563-565.

Griffin, J. J. y Goldberg, E. D. (1983). *Impact of fossil fuel combustion on sediments of Lake Michigan: A reprieve*. Environmental Sciences Technology, v. 17, n. 4, p. 244-245.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2001). *Cambio Climático 2001: Informe de Síntesis*. Recuperado de: <http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg2s.pdf/>. Acceso el: 02/02/2017.

Guidon, N. y Delibrias, G. *Carbon-14 dates point to man in the Americas 32,000 years ago*. Nature, v. 321, n. 6072, p. 769-771, 1986.

Goodland, R. A. (1972). *Physiognomic analysis of the Cerrado vegetation of Central Brazil*. Journal of Ecology, v. 59, n. 1880, pp. 411-419.

Haffer, J. (1982). *General aspects of the refuges theory*. In: Prance, G.T., ed. Biological diversification in the tropics. New York: Columbia University Press, 1982. p. 6-24.

Heinselman, M. L. (1981). *Fire intensity and frequency as factor in the distribution and structure of northern ecosystems*. In: Mooney, H. A. ; Bonnicksen, T. M. ; Christensen, N. L. ; Lotan, J. E. ; Reiners, W.A. (eds). Fire Regime and Ecosystem Properties. [S.I.]: USDA Forest Service. p. 7-57. 1981.

Hoelzemann, J. J.; Schultz, M. G.; Brasseur, G. P.; Granier, C. (2004). *Global wildland fire emission model (GWEM): Evaluating the use of global area burnt satellite data*. Journal of Geophysical Research, V.109, N.14. pp 1-18.

Huber, O. (1987). *Neotropical savannas: their flora and vegetation*. Trends in Ecology & Evolution, v.3, pp. 67-71.

Huber, O. (ed.). 1992. *El Macizo del Chimantá. Un ensayo ecológico tepuyano*. O. Todtmann, Caracas.

Huber, O. (1995a). *Geographical and Physical Features*. En: P. Berry, B. Holst, y K. Yatskievych (eds.). Flora of the Venezuelan Guayana. Volume I. Introduction. Missouri Botanical Garden: St. Louis, Missouri & Timber Press: Portland, Oregon. Pp. 1-62.

Huber, O. (1995b). *Vegetation*. En: P.E. Berry, B.K. Holst & K. Yatskievych (eds.). Flora of the Venezuelan Guayana Vol. 1: Introduction. Missouri Botanical Garden: St. Louis, Missouri & Timber Press: Portland, Oregon. Pp. 97-160.

Huber, O. y Oliveira-Miranda, M.A. (2010). *Ambientes Terrestres de Venezuela*. En: Rodríguez, J.P., Rojas-Suárez, F. & Giraldo-Hernández, D. (eds.), Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas, Venezuela, pp. 29–89.

Humboldt, A. von. (1805). *Essai sur la géographie des plantes; accompagné d'un tableau physique des régions équinoxiales*. Par Al. de Humboldt et A. Bonpland, rédigé par Al. de Humboldt. 155 pp. Paris, Levrault, Schoell et Cie.

Iacobellis S. F.; Frouim, R.; Razafimpanilo, H.; Somerville, R.C.J.; Piper, S.C. (1994). *North African savanna fires and atmospheric carbon dioxide*. Journal of Geophysical Research, v. 9, n.D4, p. 8321-8334. 1994.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). (1978). *Parque Nacional das Emas: plano de manejo*. Brasília.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2001). *XIII Censo de población y vivienda 2001*. Gerencia General de Estadísticas Demográficas. Recuperado de: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/ResultadosBasicos.pdf>. Acceso el: 11/03/2018.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011). *XIV Censo de población y vivienda 2011*. Gerencia General de Estadísticas Demográficas. Recuperado de: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/ResultadosBasicos.pdf>. Acceso el: 11/03/2018.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2018). *Programa de monitoramento de queimadas*. Recuperado de: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>. Acceso el 01/11/2018.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh). (2016). *Embalse Guri está a menos de 3 metros de zona de colapso (+infografía)*. Recuperado de: <https://www.elcambur.com.ve/elcambur/destacado/embalse-guri-a-menos-de-3-metros-de-zona-de-colapso-infografia>. Acceso el: 01/03/2018.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh). (2019). *Estadísticos Básicos Lluvia*. Recuperado de: <http://www.inameh.gob.ve/web/PDF/Estadisticos%20Basicos%20Lluvia.pdf>. Acceso el: 01/01/2019.

Instituto Nacional de Parques (Inparques). (1997). *Instituto Nacional de Parques*. Ramón Rangel Editor. Caracas.

Justice, C. O.; Giglio, L.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J.; Roy, T. D.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. (2002). *The MODIS fire products*. Remote Sensing of Environment, v.83, p. 244–262.

Jain, A. K. (2007). *Global estimation of CO emission using three sets of satellite data for burned area*. Atmospheric Environment, v.41:33, p.6931-6940.

Justice, C. O.; Giglio, L.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J.; Roy, T. D.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. 2002. *The MODIS fire products*. Remote Sensing of Environment, v.83, p. 244–262.

Kasischke, E. S.; Christensen, N. L.; Stocks, B. J. (1995). *Fire Global warming and the carbon balance of boreal forests*. Ecological Applications, v.5, p.437-451.

Kasischke, E. S. Y Bruhwiler, L. P. (2003). *Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998*. Journal of Geophysical Research, v.108, n. D1, 8146.

- Kaufman, Y. y Fraser, R.; Ferrare, R. (1990a). *Satellite remote sensing of large-scale air pollution-method*. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, p. 9895-9909.
- Kaufman, Y. J.; Setzer, A.W.; Justice, C.; Tucker, C.J.; Pereira, M.C.; Fung, I. (1990b). *Remote sensing of biomass burning in the tropics*. In: GOLDAMMER, J.G. (eds.). *Fire in the tropical biota*. New York: Springer-Verlag. Cap. 16, p. 371-399. (Ecological Studies, 84).
- Kaufman, Y. J.; Setzer, A.; Ward, D.; Tanre, D.; Holben, B. N., Menzel, P.; Pereira, M. C.; Rasmussen, R. (1992). *Biomass burning airborne and spaceborne experiment in the Amazonas (Base-A)*. *Journal of Geophysical Research*, v.97, n. D13, p. 14581-14599.
- Kauffman, J. B.; Cummings, D. L.; Ward, D. E. (1994). Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradients in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology*, v.82, p. 519-531.
- Kaufman, Y. J.; Justice, C. O. (2007). *MODIS fire products - Algorithm technical background document*, 77 p., 1998. Disponível em: <http://modis-fire.umd.edu/MOD14.asp>. Acesso em: 30/12/2017.
- Keane, R., E.; Burgan, R.; Wagtendonk, J. V. (2001). *Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS and biophysical modeling*. *International Journal of Wildland Fire*, V.10, p. 301-319.
- Kidwell, K.B. *NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11 and NOAA-12): user guide*. Washington, DC: NOAA, v.1.
- King, M. D.; Kaufman, Y. J.; Tanré, D.; Nakajima, T. (1999). *Remote sensing of tropospheric aerosols from space: Past, present and future*. *Bulletim of the American Meteorological Society*, v.80, p. 2229-2259.
- Klinge, H.; Medina, E. (1979). *Heathlands and related shrublands*. Descriptive studies. In: Specht, R.L. (ed.). *Ecosystems of the World 9A*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 483-488.
- Komarek, E. V. *Lightning and fire ecology in Africa*. (1972). In: Tall Timbers Fire Ecology Conference, 12., 1972, Lubbock, Texas. Proceedings... Lubbock, Texas: Tall Timbers Research Station, 1972, v. 11, p. 473-509.
- Krug, T. y Santos, J.R. (2000). *Estimativa da área total queimada no cerrado brasileiro em 1999, a partir de dados orbitais*. São José dos Campos: MCT, 2000. (Relatório PNUD BRA/95/G31).
- Krug, T.; Rivera-Lombardi, R. J y Dos Santos, J. R. (2004). *Burned area, recurrence of fires and permanence of burnt scars in selected areas of the Brazilian Cerrado using TM/Landsat imagery*. In: XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, 2004, Istanbul. XXth ISPRS Congress: Geo-Imagery Bridging Continents.

Istanbul: ISPRS, 2004. Istanbul: M. Orhan Altan, Congress Director, 2004. v. XXXV. p. 243-246.

Lamarque, J. F.; Edwards, D. F.; Emmons, L. K.; Gille, J. C.; Wilhelmi, O.; Gerbig, C. (2003). Identification of CO plumes from MOPITT data: Application to the August 2000 Idaho-Montana forest fires. *Geophysical Research Letters*, v.30, n.13.

La Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Parques Nacionales, otras Áreas Protegidas, Flora y Fauna Silvestres (REDPARQUES). (2018). Recuperado de: <http://redparques.com/wp-content/uploads/2015/09/DECLARACION-DE-LA-RED-LATINOAMERICANA-DE-COOPERACION-TECNICA-EN-PARQUES-NACIONALES.pdf>. Acceso el: 02/01/2018.

Lambin, E. F.; Goyvaerts, K.; Petit, C. (2003). *Remotely-sensed indicators of burning efficiency of savannah and forest fires*. *International Journal of Remote Sensing*, v.24, n.15, p. 3105-3118.

Leal A.; Paolini-Ruiz, J.; Acevedo, I.; Bilbao, B.; Colmenares-Arteaga, M.; Contreras, J.; Henríquez, M.; Hernandez, W.; Mendoza, B.; Pastor, J. Mostacero, J.; Nozawa, S.; Pedraza, E.; Picón G.; Rivas, W.; Rivera-Lombardi, R.; Rondón, M.; Thielen, D.; Torres, D.; Sánchez, F.; Zambrano, E. (2018). *Primer Reporte Académico de Cambio Climático 2018: Contribución del Grupo de Trabajo I (Bases Científicas del Cambio Climático. Cap. 1.4 Ecosistemas Terrestres y Biodiversidad) al Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC) de la Secretaría Académica de Cambio Climático (SACC) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) de Venezuela*. [Villamizar, A., E. Buroz Castillo, R. Lairer Centeno, & J. Gómez (Eds.)]. EDICIONES ACFIMAN-CITECI, Caracas. 486pp.

Leal, A.; Bilbao, B.; Berrio, J.C.; Behling, H.; Montoya, J.V.; Mendez, C. (2016). *Late-Holocene gallery forest retrogression in the Venezuelan Guayana: New data and implications for the conservation of a cultural landscape*. *Holoceno*, 27 (7): 1049-1063.

Levine, J. S. (1991). *Global biomass burning: atmospheric, climatic, and biospheric implications*. En: J. S. LEVINE (ed.). *Biomass burning and global change*. Cambridge, Mass: MIT Press, p. 15–30.

Levine, J.S. (1999). *Gaseous and particulate emissions released to the atmosphere from vegetation fires*. In: *Health Guidelines for Vegetation Fire Events, 1999*, Lima, Perú Proceedings... Lima, Perú.: United Nations Environment Programme, 1999.

Libonati, R.; Da Camara, C.; Setzer, A.; Morelli, F.; Melchiori, A. (2015). *An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 μ m MODIS Imagery*. *Remote Sens.*, v. 7, p. 15782-15803.

- Liu, J.; Drummond, J.R.; Li, Q.; Gille, J.C.; Ziskin, D.C. (2005). *Satellite mapping of CO from forest fires in Northwest America using MOPITT measurements*. Remote Sensing of Environment, V.95, p. 502-516.
- López, M. J. y Caselles, V. (1991). *Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data*. Geocarto International, v. 6, n. 1, p. 31-37.
- Mack, F.; Hoffstadt, J.; Esser, G.; Goldammer, J. G. (1996). *Modeling the influence of vegetation fires on the global carbon cycle*. In: LEVINE, J. S. (ed.). Biomass burning and global change. Cambridge, Mass: MIT Press, p. 149-159.
- Malingreau, J. P. (1990). *The contribution of remote sensing to the global monitoring of fires in tropical and subtropical ecosystems*. In: Goldammer, J.G., ed. Fire in the tropical biota. New York: Springer-Verlag, 1990. Cap. 15, p. 337-370. (Ecological Studies, 84).
- Martelo, M.T. (2004). *Consecuencias Ambientales Generales del Cambio Climático sobre Venezuela*. Caracas. Recuperado de: <http://www.inameh.gob.ve/web/PDF/Estadisticos%20Basicos%20Lluvia.pdf>. Acceso el: 01/12/2018.
- Matallana, B. de. (1937). *“La Gran Sabana. Tres años de Misión en los confines de la Guayana”*, en Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales IV. 1937, pp. 11-82.
- McKinley, R. A.; Chine, E. P.; Werth, L. F. (1985). *Operational fire fuels mapping with NOAA-AVHRR data*. PECORA SYMPOSIUM, 10., 1985, Falls Church, VA. Proceedings... p.295-304. Falls Church, VA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Medina E.; Silva, J. (1990). *Savanna of northern South America: a steady state regulated by water-fire interactions on a background of low nutrient availability*. Journal of Biogeogr, v.17, pp. 403-413.
- Medler, M. J.; Yool, S. R. (1997). *Improving thematic mapper based classification of wildfire induced vegetation mortality*. Geocarto International, V.12, p. 49-58.
- Menaut, J.; Abbadie L.; Lavenue, F.; Loudjani, P.; Podaire A. (1991). *Biomass burning in west african savannas*. In: LEVINE, J. S. (ed.). Biomass burning and global change. Cambridge, Mass: MIT Press, p. 133-142.
- Merrill, E. H.; Bramble-Brodahl, M. K.; Marrs, R. W.; Boyce M. S. (1993). *Estimation of green herbaceous phytomass from Landsat MSS data in Yellowstone National Park*. Journal of Range Management, v.46, p. 151-157.
- Millán, A.; Bilbao, B.; Yerena, E.; Sánchez-Rose, I.; Salazar, R.; Marín, S. (2013). *Manejo intercultural del fuego como herramienta para la conservación del Parque Nacional Canaima, Guayana Venezolana*. En: III International Congress on Biodiversity of the Guiana Shield. Paramaribo, Suriname.

- Millington, A. C.; Critchley, R. W.; Douglas, T. D. Ryan, P. (1994). *Estimating woody biomass in sub-Saharan Africa*. Washington, D. C.: The world Bank. 191 p.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB). (2014). *Manejador de datos de incendios forestales*. Dirección de Protección y Control de Incendios Forestales. Caracas. Venezuela.
- Naveda, J. (2015). *Cambio climático y áreas protegidas de Venezuela: posibles efectos ambientales y su contribución a la mitigación y adaptación* (Informe Técnico) (p. 64). Caracas, Venezuela: Instituto Nacional de Parques.
- Novo, E. (1992). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard. Blücher. 308 p.
- Oficina Central de Estadística e Informática (OCEI). (1995). *El Censo 90 en Bolívar*. Caracas.
- Olson, J. S. (1981). *Carbon balance in relation to fire regimes*. In: Mooney, H. A.; Bonnikesen, J. M.; Christensen, N. L.; Lotan, J. E.; Reiners, W. A. (eds.) *Fire regimes and ecosystem properties*. Washington, D. C.: National Headquarters USDA Forest Service General, 1981. p. 327-378. Technical Report WO-26.
- Organización Mundial Meteorológica (OMM). (2011). *Scientific assessment of ozone depletion: 2010*. Geneva, Switzerland, 2011. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No.52. 516 pp.
- Organización Mundial Meteorológica (OMM). (2016). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2015*. Recuperado de: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1167_es.pdf. Acceso el: 02/02/2017.
- Organización Mundial Meteorológica (OMM). (2017). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2016*. Recuperado de: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4454. Acceso el: 02/02/2017.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2018). Recuperado de: <https://whc.unesco.org/en/list/701>. Acceso el: 27/01/2018.
- Oviedo, A.; Valdes, G.F. (1851). *Historia general y natural de las Indias*. Madrid: [S.n.].
- Palacios-Orueta, A.; Chuvieco, E.; Parra, A.; Carmona-Moreno, C. (2005). *Biomass burning emissions: a review of models using remote-sensing data*. Environmental Monitoring and Assessment, v.104, p. 189-209, 2005.
- Paltridge, G. W. y Barber, J. (1988). Monitoring grassland dryness and the fire potential in Australia with NOAA-AVHRR data. Remote Sensing of Environment, v.25, p. 381-394.

- Paredes, F.; Guevara, E.; Barbosa, H. (2016). *Influencia del fenómeno El Niño sobre las sequías de gran cobertura en la cuenca del río Caroní, Venezuela*. En: XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú. 28 al 30 de setiembre de 2016.
- Parr, C.L. y A. Anderson (2006). *Patch mosaic burning for biodiversity conservation: A critique of the pyrodiversity paradigm*. Conservation Biology, 20(6), 1610-1619.
- Pereira, A.C. (1992). *Monitoramento de queimadas na região dos cerrados utilizando dados AVHRR/NOAA corrigidos por dados TM/LANDSAT*. 187 p. (INPE5490-TDI/507). Tesis (Maestría en Percepción Remota)–Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992.
- Pereira, M.C. y Setzer. A.W. (1993). *Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5 TM images of Amazonia*. International Journal of Remote Sensing, v. 14, n. 11, p. 2061-2078.
- Pereira, M. C. (1988). *Deteccção, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos satélites NOAA e Landsat, e dados de aeronave*. 268 p. (INPE-4503-TDL/326). Tesis (Maestría em Percepción Remota) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.
- Pereira, M.C. y Setzer. A.W. (1993). *Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5/TM images of Amazonia*. International Journal of Remote Sensing, v. 14, n. 11, p. 2061-2078.
- Pereira, J. M. C.; Chuvieco, E.; Beaudoin, A.; Desbois N. (1997). *Remote sensing of burned areas: a review*. In: Chuvieco, E., ed. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá, 1997. p.127-183.
- Ponzoni, F.J.; Lee, D. C. L; Hernandez Filho, P. (1986). *Avaliação da área queimada e da regeneração a vegetação afetada pelo fogo no Parque Nacional de Brasília através de dados TM/Landsat*. En: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4. Gramado, 10-15 ago., 1986. Anais... São José dos Campos: INPE, 1986. v. 1, p.615-621.
- Potter, C.; Brooks-Genovese, V.; Klooster, S.; Torregosa, A. (2002). *Biomass burning emission reactive gases estimated from satellite data analysis and ecosystem modeling for the Brazilian Amazon Region*. Journal of Geophysical Research, v.107, n. D20, 8056 2002.
- Prince, S. D.; Goetz, S. J.; Goward, S. N. (1995). *Monitoring primary production from earth observing satellites*, Water, Air, and Soil Pollution, v.82, p. 509-522.
- Projeto RADAMBRASIL. (1981). *Folhas SC.22/SD.23. Brasília/Tocantins; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro: p. 775 (Levantamento de Recursos Naturais).
- Ramos-Neto, M. B. (1997). *Natural occurrence of fire in Emas Natural Park, Central Brazil*. In: Bushfire '97: Australian Bush Fire Conference. Darwin, 8-10 jul.,1997. Proceedings... Darwin: CSIRO Tropical ecosystems Research Centre, 1997, p.152157.

Razafimpanilo, H.; Frouin, R.; Iacobellis, S. F.; Somerville, R. C. (1995). *Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data*. Remote Sensing of the Environment, v. 54, n. 3, p. 273-289.

República Bolivariana de Venezuela. (2017). *Segunda Comunicación Nacional en Cambio Climático ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Caracas: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). 180 pp.

Rivera-Lombardi, R. J. (2001). *Identificação de áreas vulneráveis à ocorrência de incêndios florestais provocados por atividades antrópicas, utilizando diferentes métodos de inferência espacial*. En: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001.

Rivera-Lombardi, R. J. (2003). *Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat*. Tesis (Maestría en Percepción Remota) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo, 2003. São José dos Campos: INPE, 2003. 172p. – (INPE-12663-TDI/1006).

Rivera-Lombardi, R. J.; Krug, T.; Dos Santos J. R. (2004a). *Análise da distribuição espaço-temporal de queimadas em áreas selecionadas do Cerrado brasileiro, Utilizando Dados do Sensor TM/Landsat*. En: Simpósio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, 11. (SELPER), 2004, Santiago de Chile.

Rivera-Lombardi, R. J.; Krug, T.; Dos Santos J. R. (2004b). *Quantificação de Superfícies Queimadas em Áreas Selecionadas do Cerrado Brasileiro, Utilizando Dados do Sensor TM/Landsat*. En: Simpósio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, 11. (SELPER), 2004, Santiago de Chile.

Rivera-Lombardi, R. J.; Padrón J. L; Huber O.; Linares, I. (2006). *Propuesta de zonificación de uso del sector occidental del Parque Nacional Canaima*. Estado Bolívar. Rev. Terra 22: 77-122.

Rivera-Lombardi, R. J. (2009a). Capítulo 1. Aspectos geográficos y físicos del Parque Nacional Canaima. Pp. 24-35. En: Señaris, J.C., Lew D. y Lazo, C. (eds.). 2009. Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para La conservación de La Guayana venezolana. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.

Rivera-Lombardi, R. J. (2009b). *Estimativa de áreas queimadas com produtos Modis como subsídio à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e Cerrado brasileiros*. Tesis (Doctorado en Percepción Remota) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo, 2009. São José dos Campos: INPE, 2009. 187p. (INPE-12663-TDI/1006).

Rivera-Lombardi, R.J., Setzer, A., Krug, T. (2011). *Estimativa de emissões de gases de efeito estufa resultantes da queima de biomassa na Amazônia brasileira em 2005 a partir de dados MODIS/AQUA*. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE.

Rivera-Lombardi, R. J.; Bilbao B.; Aguilar V. (2015). *Estudio comparado entre focos de calor detectados con datos orbitales y reportes de incendios forestales durante el período 2000-2014*. In: XI Jornadas de Investigación Humanística y Educativa. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 15 al 18 de junio de 2015.

Robinson, J. M. (1989). *On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning*. Climatic Change, v. 14, n. 3, p. 243-22694.

Robinson, J.M. (1991). *Fire from space: global fire evaluation using infrared remote sensing*. International Journal of Remote Sensing, v. 12, n. 1, p. 3-24.

Rodríguez I. (2004). *Conocimiento indígena vs. científico: el conflicto por el uso del fuego en el Parque Nacional Canaima, Venezuela*. Interciencia 29: 121-129.

Rodríguez, I. (2007). *Pemón perspectives of fire management in Canaima National Park, Southeastern Venezuela*. Human Ecology 35: 331–343.

Rodriguez, I., Sletto, B., Bilbao, B. y Leal, A. (2013). *Re-significando el fuego: gobernabilidad reflexiva y transformación de conflictos en territorios indígenas culturalmente frágiles*. STEPS Working Paper 54, Brighton: STEPS Centre. United Kingdom.

Rollings, M. G.; Keane, R. E.; Parsons, R. A. (2004). *Mapping fuel and fire regimes using remote sensing ecosystem simulation, and gradient modeling*. Ecological Applications. v.14, n.1, p. 75-95.

Roy, D. P.; Lewis, P. E.; Justice, C. O. (2002). *Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data—a bi-directional reflectance model-based expectation approach*. Remote Sensing of Environment, v.83, p. 263-286, 2002.

Russell-Smith, J.; A. C. Edwards; J. C. Z. Woinarski; J. McCartney; S. Kerin; S. Winderlich; B. P. Murphy; F. Watt. (2009). *Fire and biodiversity monitoring for conservation managers: a 10-year assessment of the 'Three Parks' (Kakadu, Litchfield and Nitmiluk) program*. In: Culture, ecology and economy of fire management in north Australian savannas: rekindling the wurrk tradition. Pp. 257-286. Russell-Smith, J., P. J. Whitehead and P. Cooke (eds.). CSIRO Publishing. Collingwood.

Russell-Smith, J.; G. D. Cook; P. M. Cooke; A. C. Edwards; M. Lendrum; C. P. Meyer; P. J. Whitehead. (2013). *Managing fire regimes in north Australian savannas: applying Aboriginal approaches to contemporary global problems*. Frontiers in Ecology and the Environment 11:55-63.

- República de Venezuela. (1975). *Ampliación del Parque Nacional Canaima*. Gaceta Oficial N° 30.809. Decreto N° 1.137 del 01/10/75.
- República de Venezuela. (1991). *Plan de ordenamiento y Reglamento de Uso del Sector Oriental del Parque Nacional Canaima*. Gaceta Oficial N° 34.758. Decreto N° 1.640 del 05/06/91.
- Salas, J. y Chuvieco, E. (1994). *Geographic information systems for wildfire risk mapping*. *Wildfire*, v.3, n.2, p. 7-13.
- Salazar, R. y Ferreira, C. (2018). *Influência do ENOS e AMO entre 2003-2014 no clima e regimes de fogo na Gran Sabana, Parque Nacional Canaima, Guiana Venezuelana*. *Revista Brasileira de Climatologia*, año 14, v. 22, p. 55 – 75.
- Sanford, R. L.; Saldarriaga, J.; Clark, K. E.; Uhl, C.; Herrera, R. (1985). *Amazon rain-forest fires*. *Science*, v. 227, n. 4683, p. 53-55.
- Santos, J.R. y Aoki H. (1981). *Monitoramento do Parque Nacional de Brasília através de dados orbitais*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1., São José dos Campos, 27-29nov., 1978. Anais... São José dos Campos: INPE, 1981, v. 1, p. 118134.
- Sarmiento, G. (1983). The savannas of tropical América. En: Bourlière F. (ed.). *Tropical savannas*. Elsevier. Amsterdam. P.235-288.
- Sarmiento, G. (1984). *The ecology of neotropical savannas*. Harvard Univ Press, Cambridge.
- Schimper, A.F.W. (1903). *Plant-geography upon physiological basis*. Tradução. W.R. Fischer. London: Oxford Claredon Press, 839 pp.
- Scholes, R. J.; Kendall, J.; Justice, C. O. (1996a). *The quantity of biomass burned in Southern Africa*. *Journal of Geophysical Research*, v.101, n. D19, p. 23667-23676.
- Scholes, R. J.; Vandermerwe, M. R. (1996b). *Greenhouse gas emissions from South Africa*. *South African Journal of Science*, v.92, n.5, p. 220-222.
- Schubert, C. y H. Briceño. 1987. *Origen de la topografía tepuyana: una hipótesis*. *Pantepui* 2: 11-14.
- Schüle, W. (1990). *Landscape and climate in prehistory: Interaction of wildlife, man, and fire*. In: Goldammer, J.G., ed. *Fire in the tropical biota*. New York: Springer-Verlag. Cap. 13, p. 273-318. (Ecological Studies, 84).
- Seiler, W. y Crutzen, P. J. (1980). *Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning*. *Climate Change*, v.2, p. 207-247, 1980.

Servicio Geológico de los Estados Unidos. USGS (2017). Recuperado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acceso el: 27/12/2017.

Setzer, A.W. (1993). *Operational satellite monitoring of fires in Brazil*. International Forest Fire News, v. 9, n. 7, p.8-11.

Setzer, A. W.; Pereira, M. C.; Pereira Jr., A. C. (1994). *Satellites studies of biomassburning in Amazônia: some practical aspects*. Remote Sensing Reviews, v.10, n. 1-3, p91-103.

Sharpe, C. y Roodriguez, I. (1997). *Discovering the Lost World: Caniama National Park and World Heritage Site, Venezuela*. In: The George Wright Forum, v.14, n.3. pp. 15-23.

Siljeström, P. y Moreno, A. (1995). *Monitoring burnt areas by principal components analysis of multitemporal TM data*. International Journal of Remote Sensing, v. 16, n. 9, p.1577-1587.

Silva, J. M. N. (1996). *Comparação entre os índices de vegetação NDVI e IV7 para cartografia de áreas ardidas com imagens Landsat-5 TM*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. 237 pp.

Simpson, G. (1940) *Los Indios Kamarakotos*. Revista de Fomento. 22-25: 209-656.

Sletto, Bjørn. 2006. *Burn Marks: The Becoming and Unbecoming of an Indigenous Landscape*. Unpublished PhD Dissertation. Ithaca: Cornell University.

Solbrig, O. T. (1996). *The diversity of the savanna ecosystem*. pp. 1-27. En: Ecological Studies, v.121. Solbrig, O. T.; E. Medina y J. F. Silva (eds.). Biodiversity and savanna ecosystem processes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Tanaka, S.; Kimura, H.; Suga, Y. (1983). *Preparation of a 1:25.000 Landsat map for assessment of burnt area on Etajima Island*. International Journal of Remote Sensing, v. 4, n. 1, p. 17-31.

Tansley, A. G. (1935). *The use and abuse of vegetational concepts and terms*. Ecology, v. 16, n. 3, pp. 208-307.

Thomas, D. (1983). *Los Pemón*. En: Los Aborígenes de Venezuela. Monografía No. 29. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Instituto Caribe de Atropología y Sociología. Caracas. Pp. 309-373.

Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). (1993). *Parques y Progreso*. Programa de Áreas Protegidas. IV Congreso Mundial de Parques y Áreas Protegidas, Caracas.

United State Geological Service (USGS). (2017). *Interfase del usuario en línea para descargas de imágenes*. Recuperado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/> . Acceso el: 27/02/2017.

- Vareschi, V. (1992). *Ecología de la vegetación tropical*. Edición Especial de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales. 312 pp.
- Viegas, D. X.; Piñol, J.; Viegas, M. T.; Ogaya, R. (2001). *Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices*. International Journal of Wildland Fire, v.10, p. 223-240.
- Viney, N. R. (1991). *A review of fine fuel moisture modeling*. International Journal of Wildland Fire, v.1, p. 215-2240.
- Veloso, H. P.; Rangel, A. L.; Lima, J. C. (1991). *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE-IBDF, 123 pp.
- Vincelli, P. (1981). *Estudio de la vegetación del territorio faunístico "El Tuparro"*. Cespadesia 10 (37-38): 7-55
- Walker, B. H. (1987). *A general model of savanna structure and function*. p. 1-12. En: Walker, B. H. (ed.) *Determinants of Tropical savannas*. IRL Press. Oxford.
- Ward, D. E. (1986). *Field scale measurements of emissions from open fires, technical paper presented at the defense nuclear agency global effects review*. Washington, D.C.: Defense Nuclear Agency.
- Ward, D. E.; Susott, R. A.; Kauffman, J. B.; Babbitt, R.E.; Cummings, D. L.; Dias, B., Holben, B. N.; Kaufman, Y. J.; Rasmussen, R. A.; Setzer, A. (1992). *Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: Base-B experiment*. Journal of Geophysical Research, v.97, n. D13, p. 14601-14619.
- Ward, D. E.; Hao, W. M.; Sussot, R. A.; Babbitt, R. E.; Shea, R. W.; Kauffman, J. B. Justice, C. O. (1996). *Effect of fuel composition on combustion efficiency and emission factors for African savanna ecosystems*. Journal of Geophysical Research, v.101, n. D19, p. 23569-23576. 1996.
- Ward, D. E. y Hardy, C. C. (1991). *Smoke emissions from wildland fires*. *Environment International*, v.17, n.18, p. 117-134.
- Ward, D. E. y Hao, W. M. (1991). *Projections of emissions from burning of biomass for use in studies of global climate and atmospheric chemistry*. In: National Air and Waste Management Association, Meeting, 4., 1991, Vancouver, B. C. Proceedings..., Vancouver, B. C.: Air and Waste Management Association, 1991, p. 91-128.
- Waring, R. H. y Running, S. W. *Forest ecosystems: analysis at multiple scales*. San Diego: Academic Press, 1998. 370 p.
- Warming, E. (1973). *Lagoa Santa*. São Paulo: Editora Itatiaia, 282 pp.

White, J. D.; Ryan, K. C.; Key, C. C; Running, W. (1996). *Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery*. International Journal of Wildland Fire, v.6, p. 125136.

Wightman, J.M. (1973). *Detection, mapping, and estimation of rate of spread of grasses from southern African ERTS-1 imagery*. In: Symposium of Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite, 1. 1973, New Carolton, MD. Proceedings... Washington, DC: NASA, 1973. v.1, sec. A, pp. 593-601.

Yerena, E.; García-Rangel, S. y Morón, V. (2018). *Primer Reporte Académico de Cambio Climático 2018: Contribución del Grupo de Trabajo I (Bases Científicas del Cambio Climático. Cap. 1.6 Áreas Protegidas) al Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC) de la Secretaría Académica de Cambio Climático (SACC) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) de Venezuela*. [Villamizar, A., E. Buroz Castillo, R. Lairer Centeno, & J. Gómez (Eds.)]. EDICIONES ACFIMAN-CITECI, Caracas. 486pp.

ANEXOS

Anexo A. Imágenes Landsat-8/OLI utilizadas en la detección y cuantificación de las áreas quemadas (un total de 252 imágenes, 6 imágenes para cada una de las 42 quincenas del período de estudio).



Anexo B. Lista de asistencia de participantes e instituciones al “I Encuentro e Intercambio de Saberes para la Gestión Intercultural del Manejo Participativo del Fuego”

 The British Academy, United Kingdom INPARQUES Corporación Venezolana de Guayana (CVG), Estación Científica Parupa (ECP), Venezuela Departamento de Estudios Académicos Universidad Simón Bolívar ROYAL HOLLOWAY UNIVERSITY OF LONDON				
<i>I Encuentro e Intercambio de Saberes para la Gestión Intercultural del Manejo Participativo del Fuego</i> 08 -11 de julio de 2015. Estación Científica Parupa. Gran Sabana. Estado. Bolívar.				
No.	País	Apellido	Nombre	Institución
1	BRASIL	André de Souza	Dismar	Indígena Macuxi, CIR – Conselho Indígena de Roraima, Comunidade Maturuca, Etnoregião Serras, Terra Indígena Raposa Serra do Sol, Roraima
2	BRASIL	Benevides	Sandro	Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios – Prevfogo, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Brasil
3	BRASIL	de Souza Filho	Jacir José	Indígena Macuxi, CIR – Conselho Indígena de Roraima, Comunidade Maturuca, Etnoregião Serras, Terra Indígena Raposa Serra do Sol, Roraima
4	BRASIL	de Souza Oliveira	Eusebio	Indígena Macuxi, CIR – Conselho Indígena de Roraima, Comunidade Lage, Etnoregião Serras, Terra Indígena Raposa Serra do Sol, Roraima
5	BRASIL	Gross	Tony	ISA, Instituto Socioambiental do Brasil
6	BRASIL	Lauriola	Vincenzo	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Núcleo de Apoio à Pesquisa de Roraima, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI
7	BRASIL	Lourenço Silveira	Edevilton	Indígena Wapichana, CIR – Conselho Indígena de Roraima, Comunidade e Terra Indígena Malacacheta, Etnoregião Serra da Lua, Roraima
8	BRASIL	Oliveira	Adiraci	Núcleo de Comunicação e Educação Ambiental do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios – Prevfogo, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Brasil
9	BRASIL	Rodrigues Jati	Sewbert	Fundação Nacional do Índio, Ministério da Justiça, Coordenação Regional de Roraima
10	BRASIL	Trajano	Manoel	Indígena Macuxi, CIR – Conselho Indígena de Roraima, Comunidade Normandia, Etnoregião Raposa, Terra Indígena Raposa Serra do Sol, Roraima
11	BRASIL	Txucarramae	Megaron	Instituto Raoni Xingu, Brasil
12	BRASIL	Txucarramae	Bemok Txucarramae	Instituto Raoni Xingu, Brasil
13	REGIÓN ESEQUIBA	Albert	Grace	North Rupununni District Development Board, Annai, Region 9
14	REGIÓN ESEQUIBA	Buckley	Cedrick	South Central Peoples Development Association (SCPDA)

Anexo B. Lista de asistencia e instituciones adscritas de los participantes al “I Encuentro e Intercambio de Saberes para la Gestión Intercultural del Manejo Participativo del Fuego”. Continuación.

15	REGIÓN ESEQUIBA	Fredericks	Faye	South Central Peoples Development Association (SCPDA)
16	REGIÓN ESEQUIBA	Haynes	Lakeram	North Rupununni District Development Board, Annai, Region 9
17	REGIÓN ESEQUIBA	Williams	Mike	North Rupununni District Development Board, Annai, Region 9
18	REINO UNIDO	Berardi	Andrea	The Open University
19	REINO UNIDO	Mistry	Jay	Royal Holloway University London
20	VENEZUELA	Acosta	Javier	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
21	VENEZUELA	Albesiano	Anabella	Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar
22	VENEZUELA	AsizaCayupare	Jedewanadi Hector	Universidad Nacional Experimental Indígena del Taucá (UNEIT).
23	VENEZUELA	Ayuso	Nestor	Brigada de Ataque Contra Incendios Carlos Todd. Corporación Eléctrica Nacional
24	VENEZUELA	Bilbao	Bibiana	Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar
25	VENEZUELA	Bolívar Acosta	Yirla	Corporación Eléctrica Nacional. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica
26	VENEZUELA	Cáceres	Alicia	Instituto de Biología Experimental. Universidad Central de Venezuela
27	VENEZUELA	Chacón	Noemí	Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
28	VENEZUELA	Chani	Humberto	Estación Científica Parupa CVG
29	VENEZUELA	Contasti	Mariana	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
30	VENEZUELA	Contasti	Valeriano	Presidente, Consejo de Ancianos Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
31	VENEZUELA	Fernández	Sexto	Brigada de Ataque Contra Incendios Carlos Todd. Corporación Eléctrica Nacional-CORPOELEC
32	VENEZUELA	Fernández	Gabriel	Brigada de Ataque Contra Incendios Carlos Todd. Corporación Eléctrica Nacional-CORPOELEC
33	VENEZUELA	García	Argelia	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
34	VENEZUELA	Lambós	Cesar	Infocentro Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
35	VENEZUELA	Lambós	Filiberto	Capitán de la Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
36	VENEZUELA	Lira	Pablo	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
37	VENEZUELA	Loyola	Candelaria	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
38	VENEZUELA	Maldonado	Ana	Directora General, Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
39	VENEZUELA	Marín	Sofía	Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar
40	VENEZUELA	Márquez	Milagro	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana

Anexo B. Lista de asistencia e instituciones adscritas de los participantes al “I Encuentro e Intercambio de Saberes para la Gestión Intercultural del Manejo Participativo del Fuego”. Continuación.

41	VENEZUELA	Matany	Miguel	Primer Comandante, Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
42	VENEZUELA	Meza	Enrique	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
43	VENEZUELA	Millán	Adriana	Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar
44	VENEZUELA	Mosonyi	Esteban Emilio	Rector Universidad Nacional Experimental Indígena del Tauca (UNEIT)
45	VENEZUELA	Pérez	Francisco	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
46	VENEZUELA	Pinzón	Bienvenido	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
47	VENEZUELA	Ramírez	Leonardo	Brigada de Ataque Contra Incendios Carlos Todd. Corporación Eléctrica Nacional-CORPOELEC
48	VENEZUELA	Rivera	Elizabeth	Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar
49	VENEZUELA	Rivera Lombardi	Roberto	Instituto de Geografía y Desarrollo Regional. Universidad Central de Venezuela
50	VENEZUELA	Rodríguez S.	Hector M.	Estación Científica Parupa CVG
51	VENEZUELA	Rubio	José	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
52	VENEZUELA	Salazar	Narciso	Brigada de Ataque Contra Incendios Carlos Todd. Corporación Eléctrica Nacional-CORPOELEC
53	VENEZUELA	Santarem	Francisco	Universidad Bolivariana de Venezuela. Núcleo Gran Sabana
54	VENEZUELA	Sivira	Anays	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
55	VENEZUELA	Sosa	Rosa	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
56	VENEZUELA	Sousa	Isabel	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
57	VENEZUELA	Sousa	Romario	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
58	VENEZUELA	Tietz	Paul	Intituto Nacional de Parques. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
59	VENEZUELA	Williams	León	Brigada de Ataque Contra Incendios Carlos Todd. Corporación Eléctrica Nacional-CORPOELEC
60	VENEZUELA	Zambrano	Eduardo	Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar

Anexo C. Lista de asistencia de participantes e instituciones al “I Taller de trabajo: Diseño de planes de acción en cambio climático integrando las perspectivas desde lo local indígena con la academia y las instituciones en el Parque Nacional Canaima”.

 Diseño de Planes de Acción en Cambio Climático: Integrando las Perspectivas Desde lo Local Indígena con la Academia y las Instituciones en el Parque Nacional Canaima del 23 al 25 de enero del 2017			
Nº	NOMBRE	APELLIDO	INSTITUCIÓN/DEPARTAMENTO/UNIDAD
1	Antonio	Machado	Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
2	Humberto	Chaní	Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
3	Valeriano	Constanti	Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
4	Salvador	Peña	Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
5	Silvia	Álvarez	Comunidad Pemón Taurepán, Mapaurí, Municipio Gran Sabana
6	Alcides	Loyola	Comunidad Pemón Taurepán, Mapaurí, Municipio Gran Sabana
7	Deogracia	Rivero	Comunidad Pemón Taurepán, Mapaurí, Municipio Gran Sabana
8	Carlos Julio	Castro	Comunidad Pemón Taurepán, Pantepui, Municipio Gran Sabana
9	Celestino Javier	Lezama	Comunidad Pemón Taurepán, Pantepui, Municipio Gran Sabana
10	John	Saville	Embajada Británica de Caracas
11	Simonetta	Spavieri	Embajada Británica de Caracas
12	Karina	Lambos	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
13	Michael	Mariño	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
14	Candelaria	Peña	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana
15	Héctor	Rodríguez	Estación Científica Parupa CVG
16	Hernando	Picón Nava	Fundación Dos Aguas, Gerencia de Gestión Ambiental.
17	Pedro	Borges	Fundación Instituto de Estudios Avanzados (IDEA)
18	Freddy	Parada	FUNVISIS, Unidad de Geomática, Universidad Central de Venezuela
19	Virgilio	Abreu	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
20	Miguel	Matany	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
21	Angélica	Romero	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas
22	León	Elías	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Bomberos forestales
23	Zdenkor	González	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Bomberos forestales
24	Enrique	Meza	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Bomberos forestales
25	Luis	Romero	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Bomberos forestales
26	Carlos	Rosales	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Bomberos forestales
27	Hilda	Angel	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Dirección de Parques Nacionales

Anexo C. Lista de asistencia e instituciones adscritas de los participantes al “I Taller de trabajo: Diseño de planes de acción en cambio climático integrando las perspectivas desde lo local indígena con la academia y las instituciones en el Parque Nacional Canaima”. Continuación.

28	Nelson	Arismendi	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
29	Sergio	Cobarrubia	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
30	Milagro	Fernández	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
31	Mariela	López	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
32	Marhylda	Rivera	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
33	Haidy	Rojas	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
34	Esquisa	Omaña	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Bioética política
35	Lusi	Videla Núñez	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Antropología
36	Rafael	Carreño	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Ecología
37	Noemí	Chacón	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Ecología
38	Loreto	Donoso	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Química Atmosférica
39	Tibisay	Pérez	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Química Atmosférica
40	Alimar	Molero	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Diversidad Ecológica
41	Dinora	Sánchez	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Diversidad Ecológica
42	Nayralda	Lobo	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Ecología política
43	Francisco	Herrera	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Laboratorio de Ecofisiología Vegetal
44	Ana	Felicien	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Laboratorio de Ecología de Ecosistemas y Cambio Global,
45	Carlos	Méndez	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Laboratorio de Ecología de Ecosistemas y Cambio Global,
46	Adriana	Silva	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Laboratorio de Ecología de Ecosistemas y Cambio Global,
47	Beatriz	López	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Laboratorio de Genética y ecología de Poblaciones
48	Yajaira	Díaz	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Dirección de Conservación de Cuencas Hidrográficas
49	Irene	Montaño	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Dirección de Diversidad Biológica
50	Luis	Rodríguez	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Dirección de Diversidad Biológica
51	Luz Amelia	Sánchez	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Dirección de Diversidad Biológica
52	María Gabriela	Gutiérrez	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Unidad de Cambio Climático UCC
53	Whitman	Machado	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Unidad de Cambio Climático UCC
54	Yamil	Madi	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Unidad de Cambio Climático UCC del Hábitat y Tierras de los Pueblos y Comunidades Indígenas
55	Guillermo	Barreto Esnal	Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología, Viceministerio para la Investigación y la Aplicación del Conocimiento
56	Silvina	De Caires	Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología, Viceministerio para la Investigación y la Aplicación del Conocimiento
57	Maily	Montesinos	Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología, Viceministerio para la Investigación y la Aplicación del Conocimiento
58	Jorge Isaac	Blanca Brito	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, Dirección de uso racional y eficiente de la Energía Eléctrica
59	Charlee	Robles	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, Dirección de uso racional y eficiente de la Energía Eléctrica

Anexo C. Lista de asistencia e instituciones adscritas de los participantes al “I Taller de trabajo: Diseño de planes de acción en cambio climático integrando las perspectivas desde lo local indígena con la academia y las instituciones en el Parque Nacional Canaima”. Continuación.

60	Yamileth	Uzcategui	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, Dirección de uso racional y eficiente de la Energía Eléctrica
61	Marcelino	Gómez	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, CORPOELEC
62	Juan Samuel	La Cruz	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, CORPOELEC
63	Deyelen	Ortega	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, CORPOELEC
64	Carlos	Peláez	PROVITA
65	Isabelle	Sánchez	Universidad Central de Venezuela, CENDES
66	Maoly	Márquez	Universidad Central de Venezuela, Departamento de Biología Celular
67	Roberto	Rivera-Lombardi	Universidad Central de Venezuela, Instituto de Geografía
68	Jonathan	Torres	Universidad Central de Venezuela, Instituto de Geografía
69	Adriana	Millán	Universidad Central de Venezuela, Instituto de Geoquímica
70	Julian	Mostacero	Universidad Central de Venezuela, Instituto Experimental Jardín Botánico Dr. Tobías Lasser
71	Liccia	Romero	Universidad de los Andes, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas
72	Willmer	Díaz	Universidad Experimental de Guayana (UNEG). Edo. Bolívar, Investigaciones Ecológicas
73	Rosalba	Gómez	Universidad Francisco de Miranda, Departamento de Ecología
74	Jedewanadi	Héctor Asiza	Universidad Nacional Experimental Indígena del Tauca (UNEIT)
75	Jay	Mistry	Universidad Royal Holloway de Londres
76	María Luisa	Arnal	Universidad Simón Bolívar, Decanato de Investigación y Desarrollo
77	Bibiana	Bilbao	Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales
78	Victoria	Grillo	Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales
79	Alicia	Villamizar	Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales
80	Elizabeth	Rivera	Universidad Simón Bolívar, Grupo de riesgos ambientales, Maestría Desarrollo y Ambiente
81	Anabella	Albesiano	Universidad Simón Bolívar, Maestría Desarrollo y Ambiente

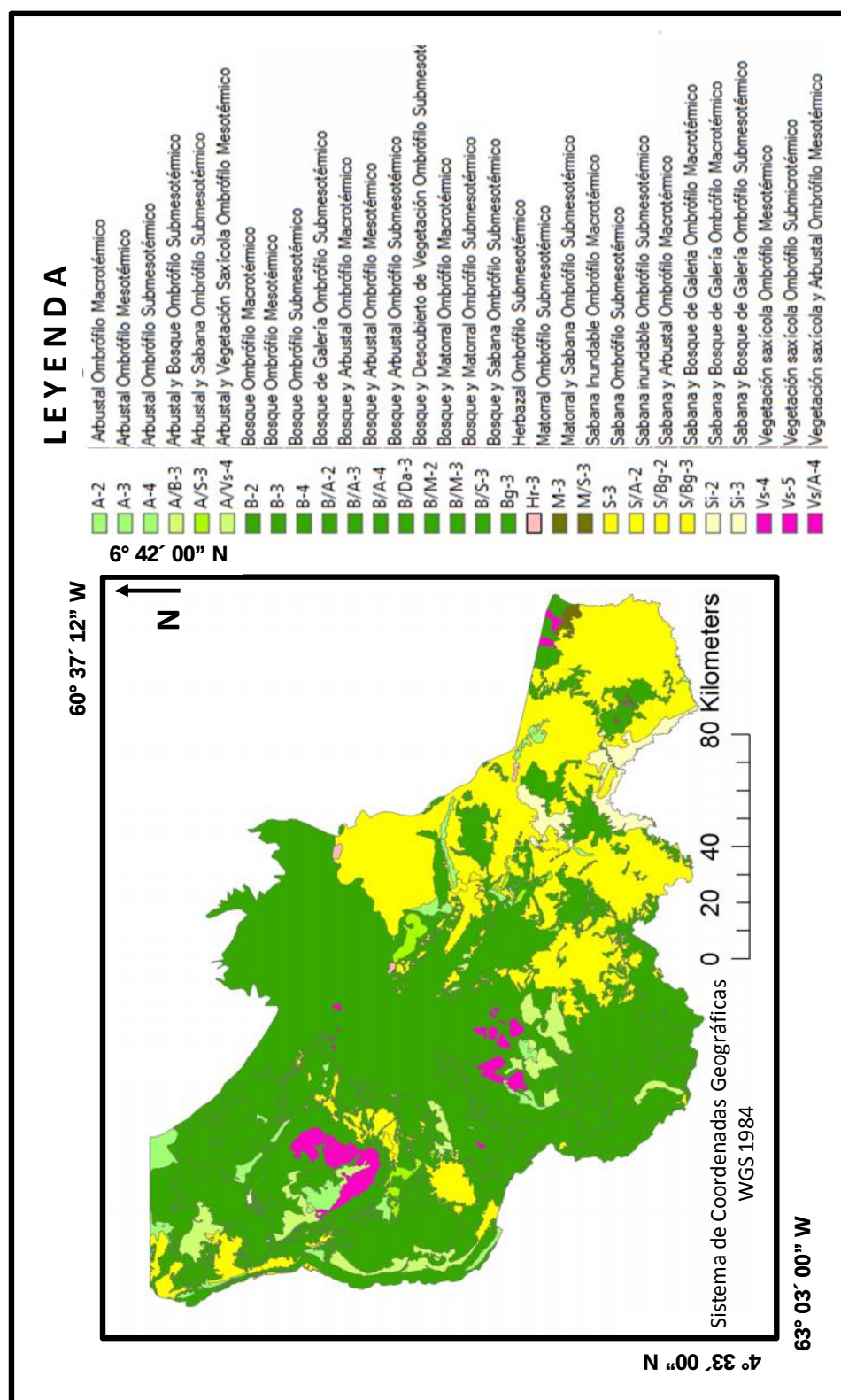
Anexo D. II Taller de trabajo: “Desarrollo de herramientas interculturales y participativas para la implementación de planes de acción de mitigación y adaptación al cambio climático en el Parque Nacional Canaima”.

				
Desarrollando Herramientas interculturales y participativas para la implementación de planes de acción de mitigación y adaptación al cambio climático en el Parque Nacional Canaima. Cuartel Central - Estación Bomberos Forestales "Pajaritos" del 27 de noviembre al 02 de diciembre del 2017				
No.	NOMBRE	APELLIDO	INSTITUCIÓN/DEPARTAMENTO/UNIDAD	CARGO
1	Humberto	Chaní	Capitán de la Comunidad/ Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
2	Isabel	Sánchez	Centro de Estudios del Desarrollo (CENDES), Universidad Central de Venezuela (UCV)	Líder Indígena
3	Ingrid	Lanz	Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
4	Isabel	Souza	Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
5	Arnaldo	Williams	Comunidad Pemón Taupán, Mapaurí, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
6	Karina	Lambos	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
7	Michael	Mariño	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
8	Candelaria	Peña	Escuela Técnica Agropecuaria (ETAK), Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
9	Salvador	Peña	Secretario Sector 5, Federación Indígena/Comunidad Pemón Arekuna, Santa Teresita de Kavanayén, Municipio Gran Sabana	Líder Indígena
10	Germán	Gutierrez	Bombero forestal-INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario público
11	Elias	León	Bombero forestal-INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario Público
12	Enrique	Meza	Bombero forestal-Representante Delegación Cuerpo de Bomberos Forestales de INPARQUES en Parque Nacional Canaima	Funcionario Público
13	Miguel	Matany	Comandante del Cuerpo de Bomberos Forestales/INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario Público
14	José	Biskis	Cuerpo de Bomberos Forestal de INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario público
15	Héctor	Rodríguez	Estación Científica de Parupa/Estación Científica Parupa CVG	Funcionario Público
16	Candelaria	Loyola	Guardaparque Parque Nacional Canaima/Comunidad Pemón, Municipio Gran Sabana / Jefa del sector oriental del Parque Nacional Canaima, INPARQUES	Funcionario Público
17	Hilda	Angel	INPARQUES, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Dirección de Parques Nacionales	Funcionario Público
18	Jesús	Borges	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas-IVIC-Laboratorio de Ecosistemas y Cambios Globales	Funcionario público
19	Arturo	Suárez	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC)	Funcionario público
20	Renzo	Silva	Viceministerio de Gestión Ecosocialista de Ambiente, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario público
21	Elicer	Centeno	Viceministerio de Gestión Ecosocialista, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario Público
22	Luis	García	Viceministerio de Gestión Ecosocialista, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario Público
23	Maria	Gonzalez	Viceministerio de Gestión Ecosocialista, Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario Público
24	Delvis	Ibarra	Viceministra para la Gestión de Riesgo y Protección Civil, del Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz	Funcionario público

Anexo D. II Taller de trabajo: “Desarrollo de herramientas interculturales y participativas para la implementación de planes de acción de mitigación y adaptación al cambio climático en el Parque Nacional Canaima”. Continuación.

25	Rosaura	Nava Rojas	Viceministra para la Gestión de Riesgo y Protección Civil, del Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz,	Funcionario público
26	Luis Enrique	Rodríguez Alb	Director Sectorial, Secretaría de Planificación y Territorio Productivo Comunal de la Gobernación del estado Bolívar	Funcionario público
27	Francisco	Dávila	Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA), Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas	Funcionario público
28	Irene	Montaño	Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, Dirección de Diversidad Biológica	Funcionario público
29	Elías	Hidalgo	Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC)	Funcionario público
30	Alexandre	Moreno	Viceministra para la Gestión de Riesgo y Protección Civil, del Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz,	Funcionario público
31	Victor	Clark	Embajada Británica en Venezuela	Funcionario
32	Simonetta	Spavieri	Embajada Británica en Venezuela	Funcionario
33	Desarrollo de	Bérmudez	PNUD Venezuela, Coordinación Nacional Programa de Pequeñas Donaciones	Funcionario
34	Roberto	Herrera	Coordinación de Agroecología, Universidad Bolivariana de Venezuela (UBV)	Académico
35	Carla	Chacón	Instituto de Ideas Avanzadas (IDEA)	Académico
36	John	Dávila	Instituto de Ideas Avanzadas (IDEA)	Académico
37	Sandy	Molina	Instituto de Ideas Avanzadas (IDEA)	Académico
38	Dario	Torrealba	Instituto de Ideas Avanzadas (IDEA)	Académico
39	Anabel	Gil	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)	Académico
40	Adriana	Giuliente	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)	Académico
41	Noemí	Chacón	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Ecología	Académico
42	Tibisay	Pérez	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Centro de Química Atmosférica	Académico
43	Yamil	Madi	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Diversidad Ecológica	Académico
44	Dinora	Sánchez	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Diversidad Ecológica	Académico
45	Carlos	Méndez	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas-IVIC-Laboratorio de Ecosistemas y Cambios Globales	Académico
46	Roberto	Rivera-Lomba	Universidad Central de Venezuela, Instituto de Geografía	Académico
47	Rosalba	Gómez	Universidad Francisco de Miranda	Académico
48	Jay	Mistry	Universidad Royal Holloway	Académico
49	Guillermo	Barreto	Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales	Académico
50	Bibiana	Bilbao	Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales	Académico
51	Icsarid	Hernandez	Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales	Académico
52	Ruth	Salazar	Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales	Académico
53	Elizabeth	Rivera	Universidad Simón Bolívar, Grupo de riesgos ambientales	Académico

Anexo E. Mapa de vegetación del Parque Nacional Canaima actualizado (2014).



Fuente: Modificado de Delgado *et al.* (2009).