

*ESTIMACIÓN MENSUAL DE
EMISIONES POR BIOMASA
QUEMADA
PARA COLOMBIA BASADO EN
IMÁGENES DE SATÉLITE*

Jesús Anaya
Emilio Chuvieco Salinero
Alicia Palacios-Orueta

ESQUEMA GENERAL

1. **Introducción**

- Los trópicos y el carbono
- Importancia
- Objetivos

2. *Revisión de literatura*

- Métodos para estimar emisiones
Que falta?

3. *Métodos*

- Área de estudio y datos de entrada
- Método de Seiler y Crutzen
- Datos de entrada

4. *Métodos y Resultados*

- Biomasa
- Área quemada
- Eficiencia del quemado
- Factores de emisión
- Análisis espacial de área quemada y emisiones
- Análisis temporal de área quemada y emisiones

5. *Conclusiones*

- Resumen de resultados e implicaciones
- Limitaciones
- Investigación futura

1. INTRODUCCIÓN: IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE EMISIONES.

Las emisiones por quema de biomasa han sido asociadas a:

- Cambios de la química atmosférica
- Aumento de la radiación ultravioleta
- Ocurriencia de la lluvia ácida
- Al aumento de temperaturas por efecto invernadero
- Fenómenos climáticos extremos
- Al aumento en el nivel del mar
- La desaparición de especies

1. INTRODUCCIÓN: IMPORTANCIA EN COLOMBIA.

- Estudios previos han identificado extensiones importantes de área quemada en Colombia (Chuvienco, et al 2008)
- Los estudios locales son escasos y fragmentados (IDEAM, 2004)
- Colombia reporta sus emisiones con demasiados supuestos
- Existen prácticas culturales de procesos de deforestación asociados al fuego
- La altísima conectividad de las zonas tropicales resulta en un medio eficiente de transporte de gases y material particulado a otras latitudes
- Se está reportando la ocurrencia del fuego en ecosistemas de alta montaña con mayor frecuencia

ESQUEMA GENERAL

1. Introducción

- Los trópicos y el carbono
- Importancia
- Objetivos

2. **Revisión de literatura**

- Métodos para estimar emisiones
Que falta?

3. *Métodos*

- Área de estudio y datos de entrada
- Método de Seiler y Crutzen
- Datos de entrada

4. *Métodos y Resultados*

- Biomasa
- Área quemada
- Eficiencia del quemado
- Factores de emisión
- Análisis espacial de área quemada y emisiones
- Análisis temporal de área quemada y emisiones

5. *Conclusiones*

- Resumen de resultados e implicaciones
- Limitaciones
- Investigación futura

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN

En campo

Se realizan fuegos prescritos en parcelas → “condiciones reales”

uso de los filtros y los equipos canister, estos se componen de un sistema para coleccionar el humo, un medidor de flujo y una bomba para muestreo

En laboratorio

Se queman fragmentos de vegetación en equipos de medición

Con teledetección

Bottom up

Se cuantifican las variables involucradas donde se detecta el fuego

Top down

- Diferencia en reflectividad entre $(0,4-0,5\mu m)$ y $(0,6-0,7\mu m)$
- Profundidad atmosférica con mediciones de reflectividad en diversos ángulos

Los métodos no son excluyentes, sino complementarios.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

Bottom up

Se cuantifican las variables involucradas con mapas globales de biomasa, mapas de área quemada, valores estándar de eficiencia del quemado y factores de emisión.

Carácter global: Hoelzemann *et al.*, 2004; Ito y Penner, 2004; van der Werf *et al.*, 2006; Schultz *et al.*, 2008

Regional: Potter *et al.*, 1998; DeFries *et al.*, 2002; Korontzi, 2005; Wiedinmyer *et al.*, 2006; Jain, 2007; Zhang y Kondragunta, 2008

Ecosistemas: sabanas de África (Korontzi, 2005), bosques de la amazonía (Guild *et al.*, 2004; Potter, 2002; Yokelson *et al.*, 2008), bosques boreales (Kasischke *et al.*, 2000).

ESQUEMA GENERAL

1. Introducción

- Los trópicos y el carbono
- Importancia
- Objetivos

2. Revisión de literatura

- Métodos para estimar emisiones
Que falta?

3. Métodos

- Área de estudio y datos de entrada
- Método de Seiler y Crutzen
- Datos de entrada

4. *Métodos y Resultados*

- Biomasa
- Área quemada
- Eficiencia del quemado
- Factores de emisión
- Análisis espacial de área quemada y emisiones
- Análisis temporal de área quemada y emisiones

5. *Conclusiones*

- Resumen de resultados e implicaciones
- Limitaciones
- Investigación futura

3. MÉTODO ELEGIDO PARA ESTIMAR LAS EMISIONES.

Estimación indirecta “*bottom up*”: Ecuación de Seiler y Crutzen.

$$M_{i,j,k} = B_{i,j,m} \times AQ_{i,j} \times EQ_{i,j,m} \times E_k$$

Requiere de:

i, j : Posición

m : Tipo de ecosistema

k : Tipo de gas

$M_{i,j,k}$: Masa del gas k

$B_{i,j,m}$: Biomasa

$AQ_{i,j}$: Área quemada

$EQ_{i,j,m}$: Eficiencia del quemado

E_k : Factor de emisión

3. MÉTODOS: DATOS DE ENTRADA.

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Este sensor fue incluido en el satélite Terra (MOD) lanzado por NASA en Diciembre de 1999 y en el Aqua (MYD), lanzado en Mayo de 2002, orbita la tierra a una altura de 705 km

MODIS tiene 36 bandas con las cuales se generan 45 productos para estudiar los continentes, los océanos y la atmósfera.

De los 45 productos disponibles se utilizaron 5:

MOD13: Índices de vegetación (Biomasa y Eficiencia del quemado)

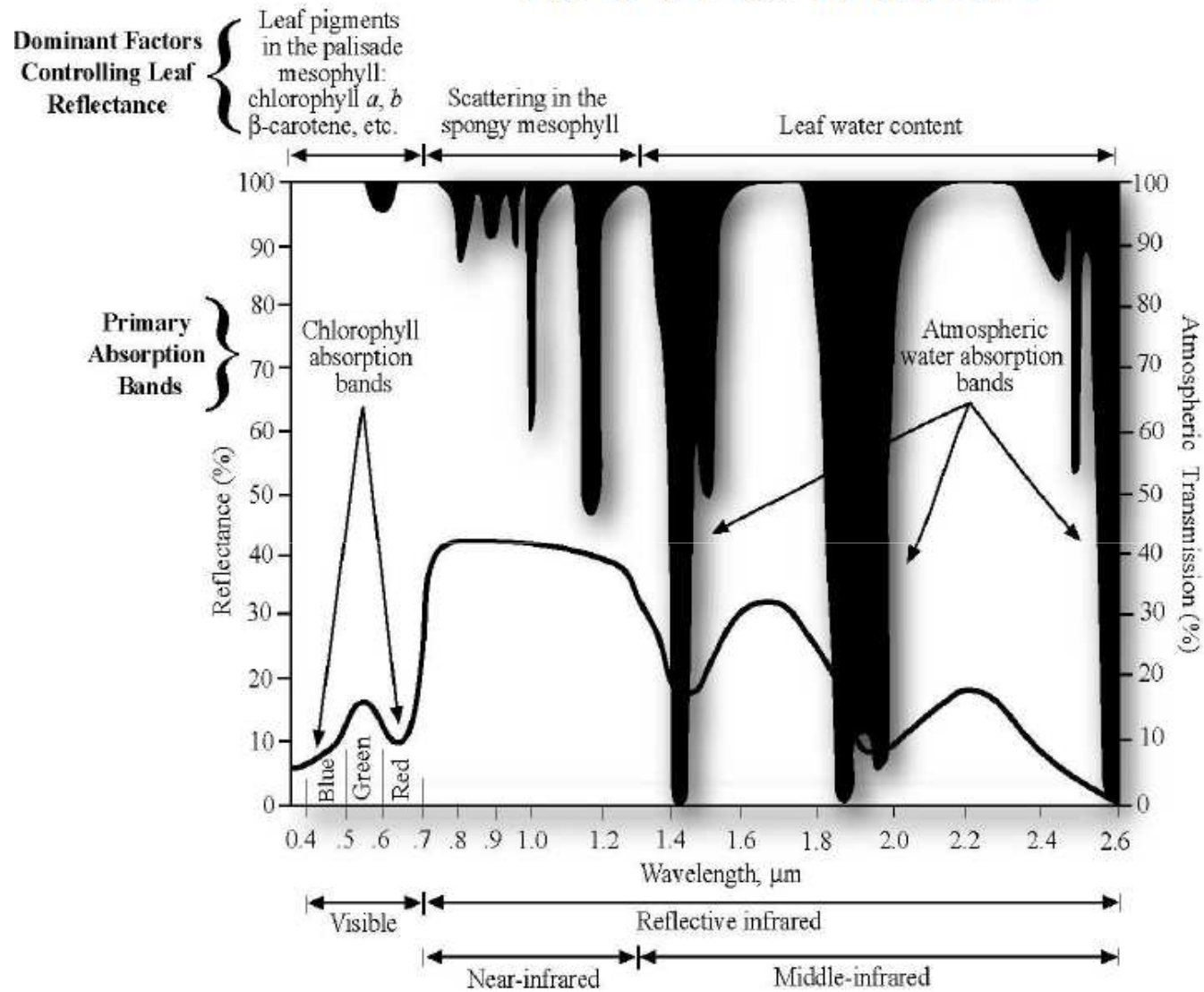
MOD17: Fotosíntesis y productividad primaria (Biomasa)

MOD44B: *Vegetation continuous fields* (Biomasa)

MOD12Q1: Cobertura del suelo (Biomasa)

MCD45: Área quemada

REFLECTANCE



FOR 443: DIGITAL REMOTE SENSING

VEGETATION ANALYSIS



Tomado de: http://courses.forestry.ubc.ca/frst443/Vegetation_AnalysisHO.pdf

3. MÉTODOS: DATOS DE ENTRADA.

Los índices de vegetación han sido utilizados ampliamente para caracterizar estado de la vegetación.

Huete y colaboradores concluyeron que el EVI es sensible en zonas con alto contenido de biomasa y disminuye los efectos de la atmósfera sobre la reflectividad de la vegetación.

Este índice se calcula como:

$$\text{EVI} = G * [(\text{IRC} - \text{Rojo}) / (\text{C1} + \text{IRC} + \text{C2} * \text{Rojo} - \text{C3} * \text{Azul})] * 10.000$$

Donde,

IRC: Infrarrojo cercano

C1 = 1,0 Factor ajustado para suelo desnudo

C2 = 6,0 Coeficiente de resistencia atmosférica

C3 = 7,5 Coeficiente de resistencia atmosférica

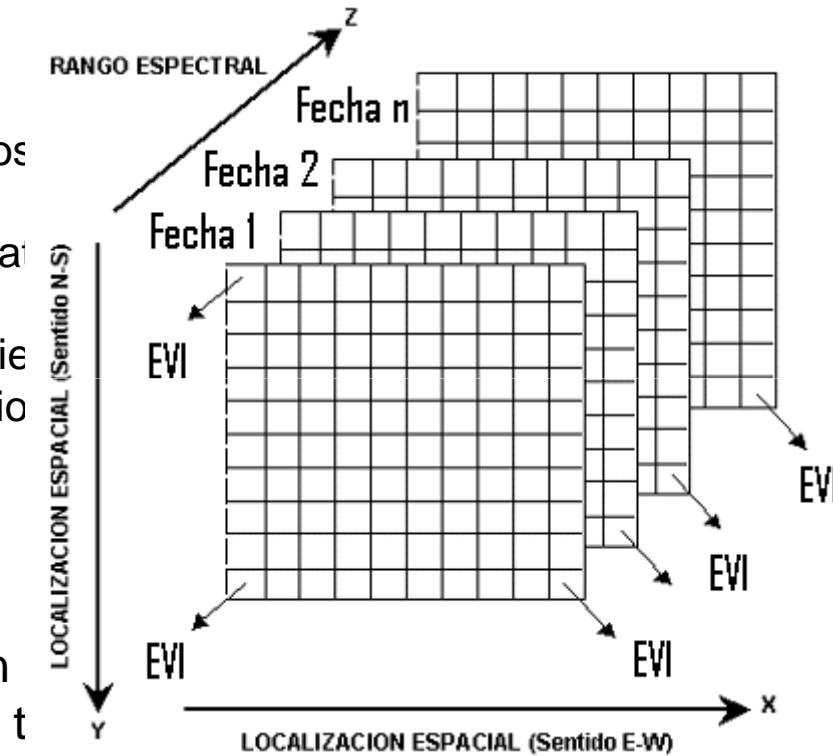
3. MÉTODOS: DATOS DE ENTRADA.

Tratamiento de datos

Se obtuvieron los datos

Se construyó la serie de datos
el periodo de estudio

Se reemplazaron los datos faltantes

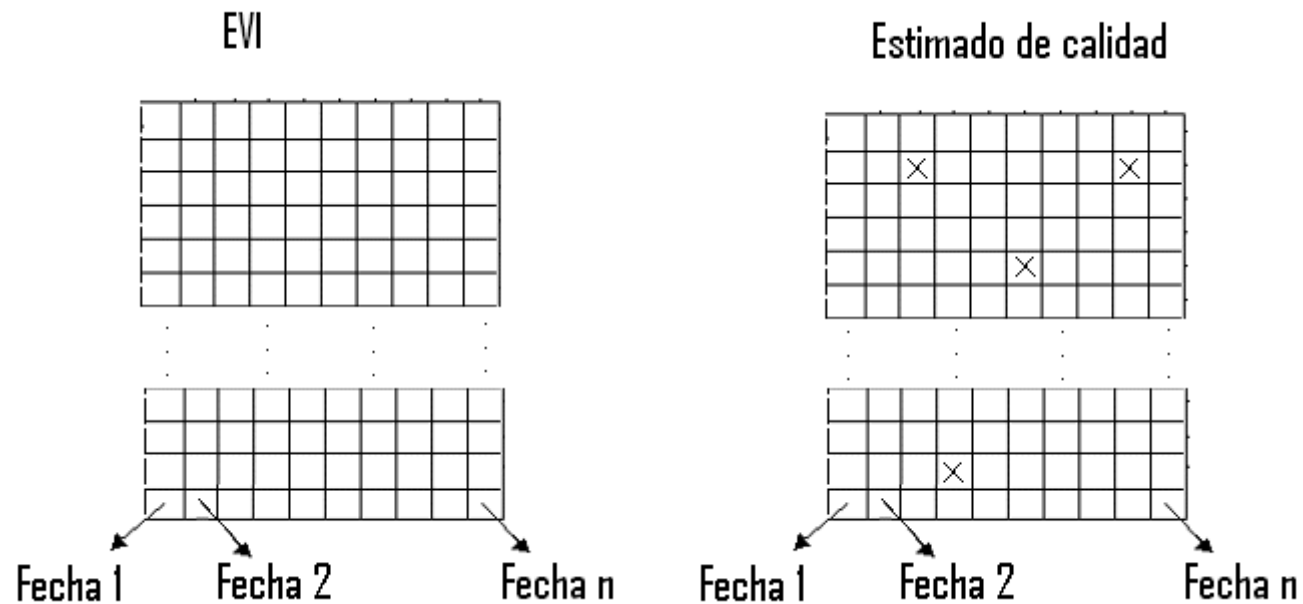


evaluación de la capacidad de cobertura (capacity assessment).

evaluación de la capacidad de cobertura (capacity assessment) para cubrir

promedio de píxeles
total.

3. MÉTODOS: DATOS DE ENTRADA.

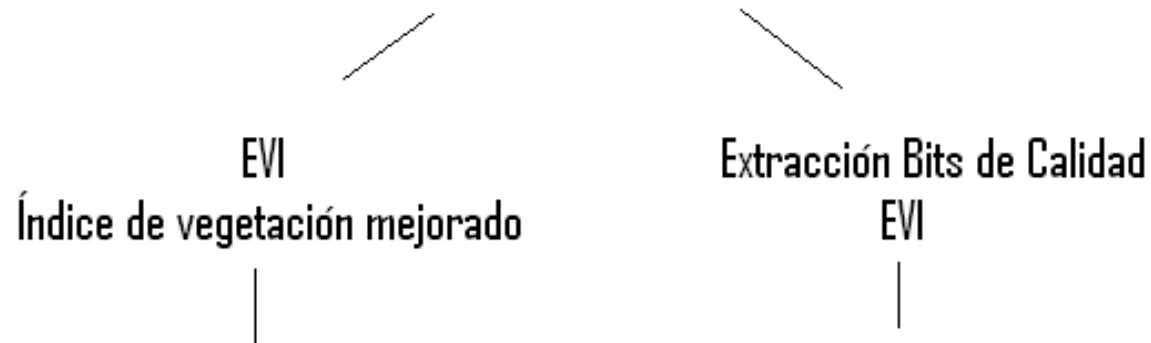


Se reemplazaron los [píxeles de baja calidad](#) con el valor promedio de píxeles temporalmente adyacentes: filtro temporal.

[Tratamiento de los datos](#)

MOD13A1

MODIS Terra, Índices de Vegetación, 16 días, 500 m



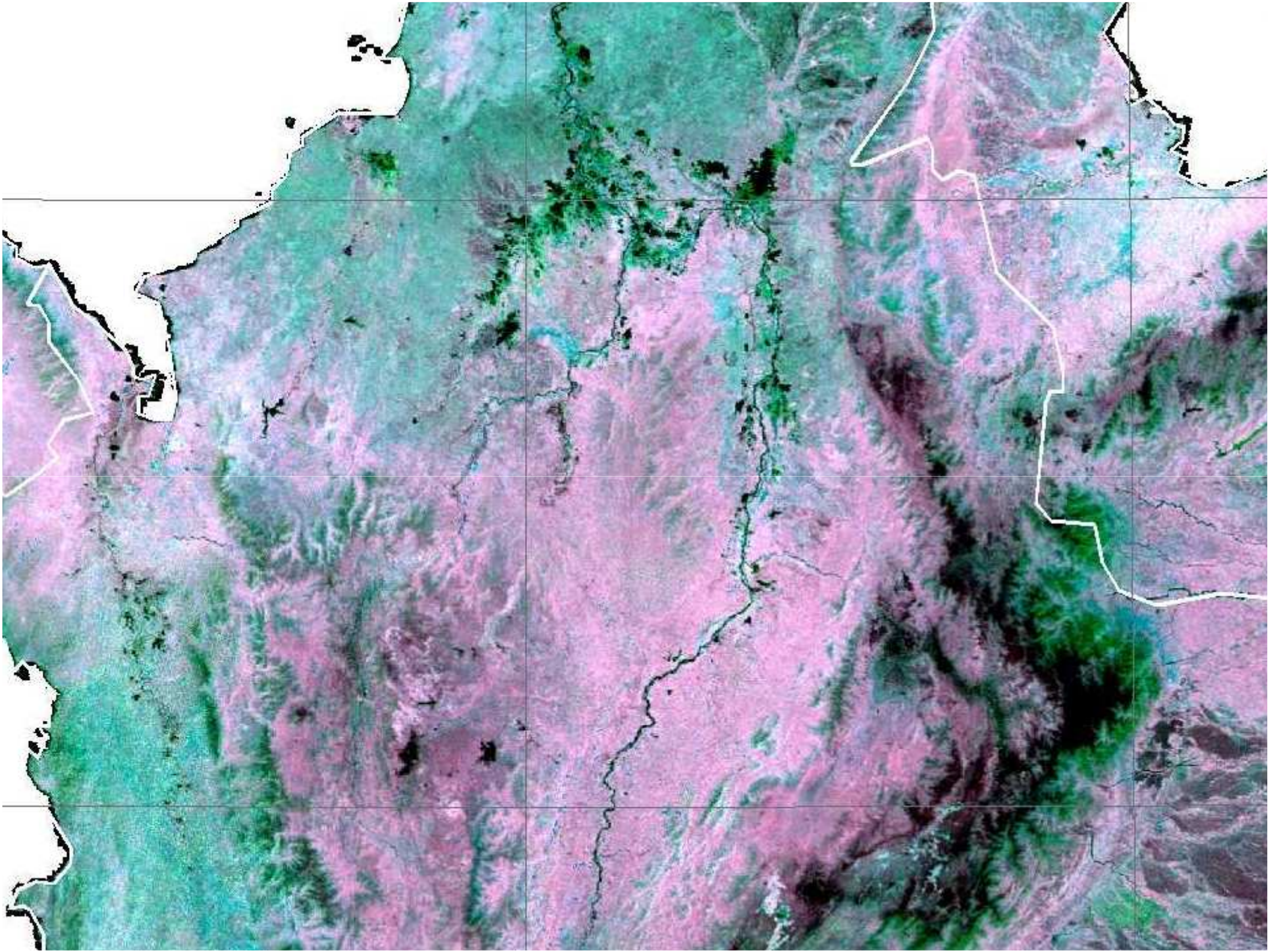
Proyección (UTM18, WGS84), Mosaicos
Agregado de fechas (stack)

138 fechas * 16 días --> 6 años

2001 - 2006

Reemplazar píxeles de baja calidad

Suavizar la serie temporal con
filtros direccionales



3. MÉTODOS: DATOS DE ENTRADA.

Área quemada:

Los mapas de área quemada son mapas dicotómicos (de dos clases), donde cada píxel tiene la fecha de detección de la señal quemada. Son generados con algoritmos que procesan información obtenida por satélites cubriendo grandes extensiones

Globcarbon (diario, 1km)

L3JRC (diario, 1km)

MCD45: Producto combinado Terra y Agua (diario, 500m)

Mapas de precipitación:

[TRMM](#) (*Tropical rainfall measurement mission*)

ESQUEMA GENERAL

1. Introducción

- Los trópicos y el carbono
- Importancia
- Objetivos

2. Revisión de literatura

- Métodos para estimar emisiones
Que falta?

3. Métodos

- Área de estudio y datos de entrada
- Método de Seiler y Crutzen
- Datos de entrada

4. **Métodos y Resultados**

- Biomasa
- Área quemada
- Eficiencia del quemado
- Factores de emisión
- Análisis espacial de área quemada y emisiones
- Análisis temporal de área quemada y emisiones

5. *Conclusiones*

- Resumen de resultados e implicaciones
- Limitaciones
- Investigación futura

4. MÉTODOS: ESTIMACIÓN DE BIOMASA.

MEDICIONES EN CAMPO

Generalmente son destructivas, pues se requiere obtener el peso seco del material

Se establecen relaciones alométricas con variables de fácil medición

- Forcípula
- Microdendrómetro
- Cinta diamétrica

Biomasa = f(DAP, altura, densidad)

$\ln B = a + \ln (DAP)$

$B = a * \exp (b * DAP)$

Se creó una base de datos de la información disponible para Colombia

4. MÉTODOS: ESTIMACIÓN DE BIOMASA.

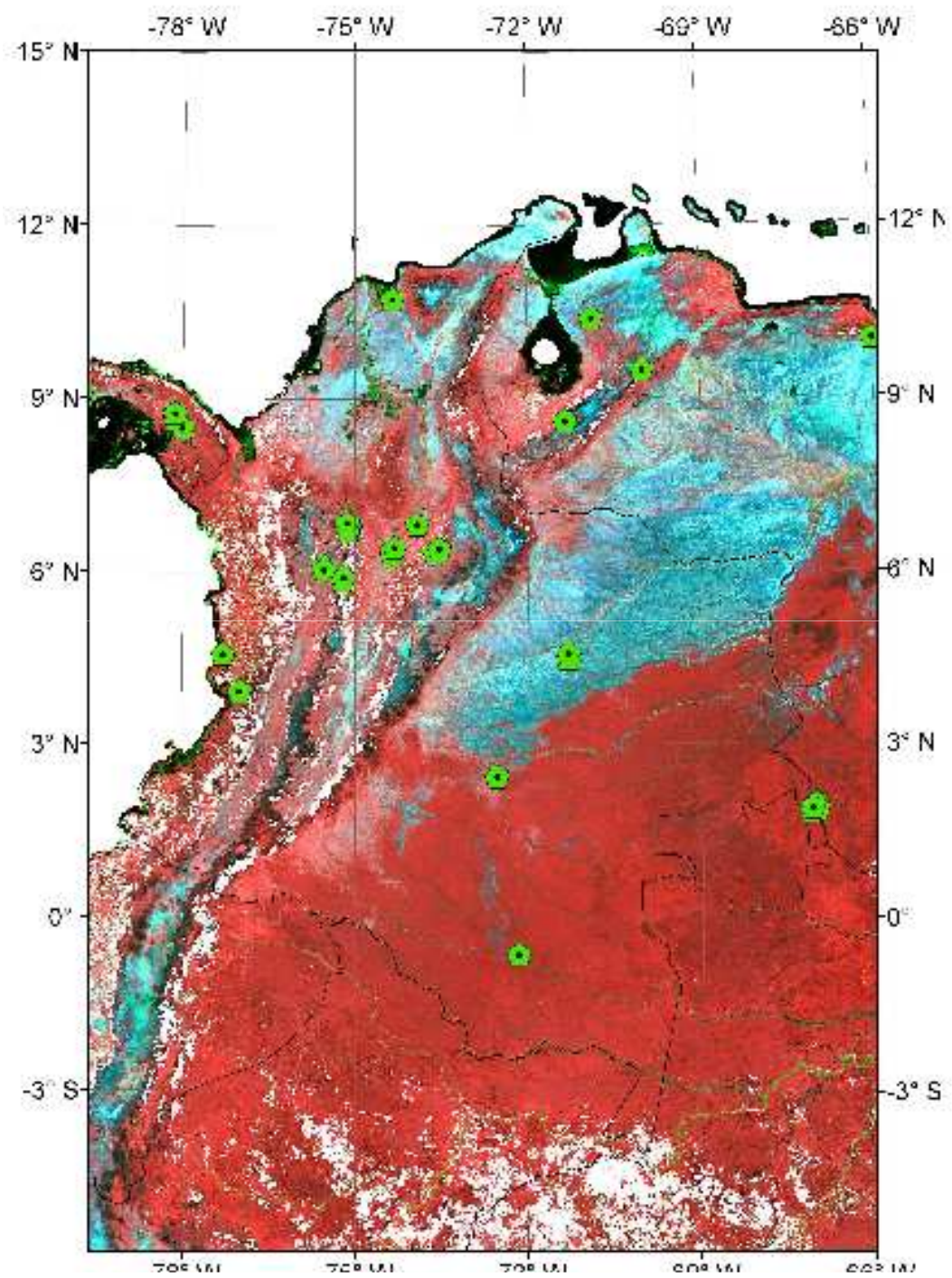
MEDICIONES DE CAMPO Y TELEDETECCIÓN

Las parcelas fueron obtenidas a partir de trabajos previos en Los Andes, La Amazonía, Los Llanos Orientales y El Caribe. Se obtuvo información adicional en parcelas de Panamá y Venezuela.

Las parcelas varían en tamaño y se muestrean todos los estratos del bosque, se incluyen bosques primarios, bosques secundarios y matorral

Los pastizales son temporalmente muy dinámicos, por tanto se estimaron valores de biomasa cada 16 días

Se ajustaron regresiones entre datos de campo ([parcelas](#)) y datos obtenidos por teledetección



4. MÉTODOS: ESTIMACIÓN DE BIOMASA.

MEDICIONES DE CAMPO Y TELEDETECCIÓN

Información obtenida por teledetección:

Mapas continuos de vegetación VCF -- [MOD44B](#)

Estadísticos de índices de vegetación EVI--[MOD13A1](#) (suma y máximo)

Información auxiliar para estratificar las coberturas:

Mapa de cobertura del suelo MOD12Q1 (Para separar los pastos)

Mapa de vegetación IGAC (Bosques secundarios)

Modelos propuestos:

$$\ln B(\text{parcelas}) = a + \ln (\text{datos_modis})$$

$$B(\text{parcelas}) = a * \exp (b*\text{datos_modis})$$

Trabajos similares: Steininger 2000; Saatchi et al, 2007; Wessels et al, 2006; Myneni et al, 2001

4. RESULTADOS: BIOMASA, MEDICIONES INDIRECTAS.

BOSQUES:

EVI no significativo

VCF significativo

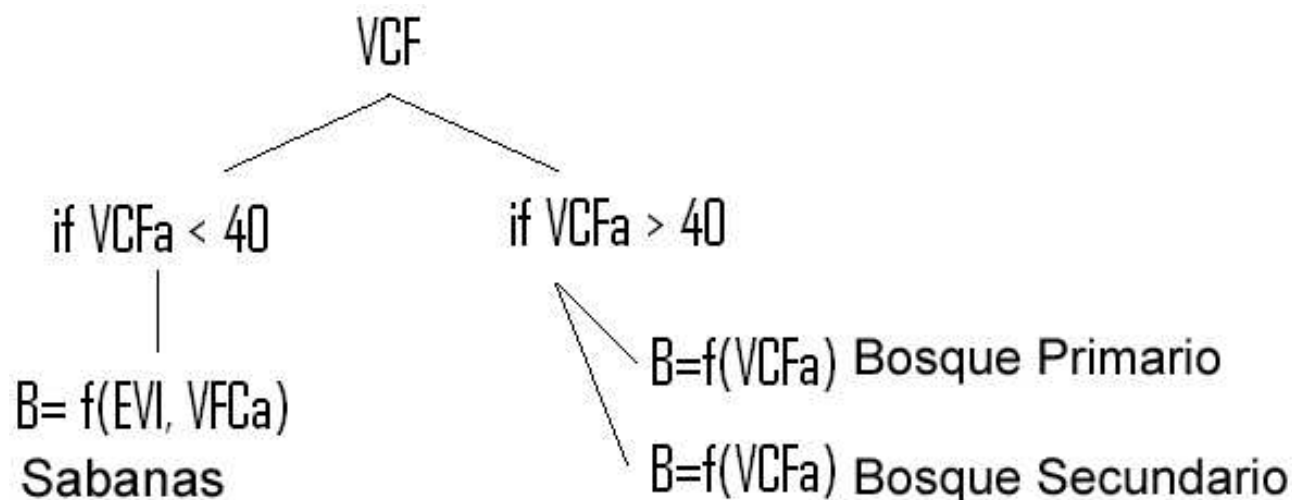
PASTOS:

EVI significativo

Biomasa bosque primario = $0,419 \cdot \exp(0,061 \cdot VCFa)$

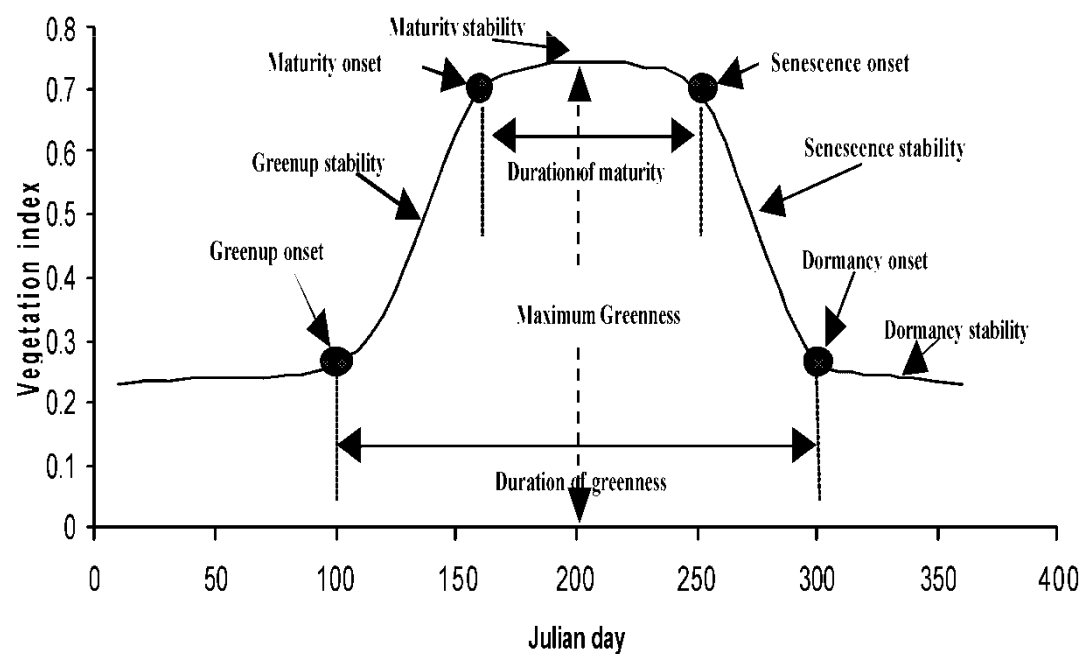
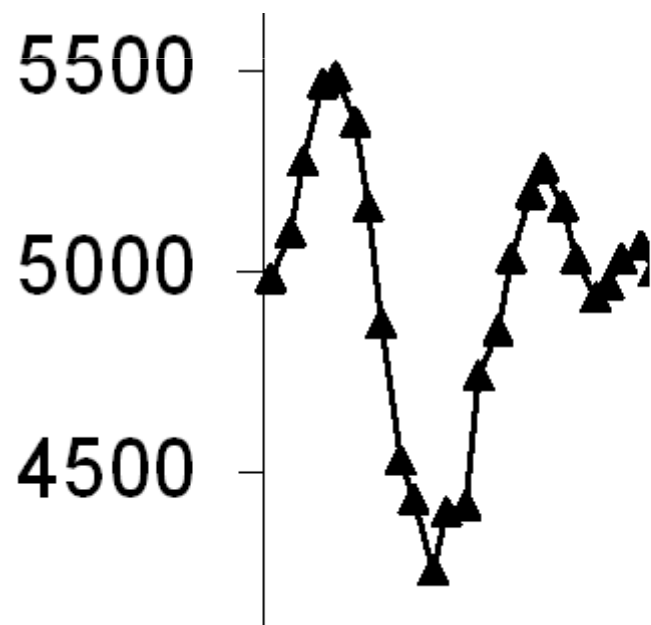
Biomasa bosque secundario = $1,951 \cdot \exp(0,063 \cdot VCFa)$

Biomasa pastos = $(0,0014 \cdot EVI - 2,8911) \cdot (100 - VCFa) / 100 + FC \cdot VCFa / 100$



4. RESULTADOS: BIOMASA, MEDICIONES INDIRECTAS.

Comportamiento anual del índice de vegetación EVI-MOD13A1 los bosques de la Amazonía y en bosques templados --TRABAJOS PREVIOS--



4. MÉTODOS: EVALUACIÓN ÁREA QUEMADA.

Se utilizaron los [focos de calor](#) como una primera aproximación a la distribución espacial de la ocurrencia del fuego.

MAPAS DISPONIBLES:

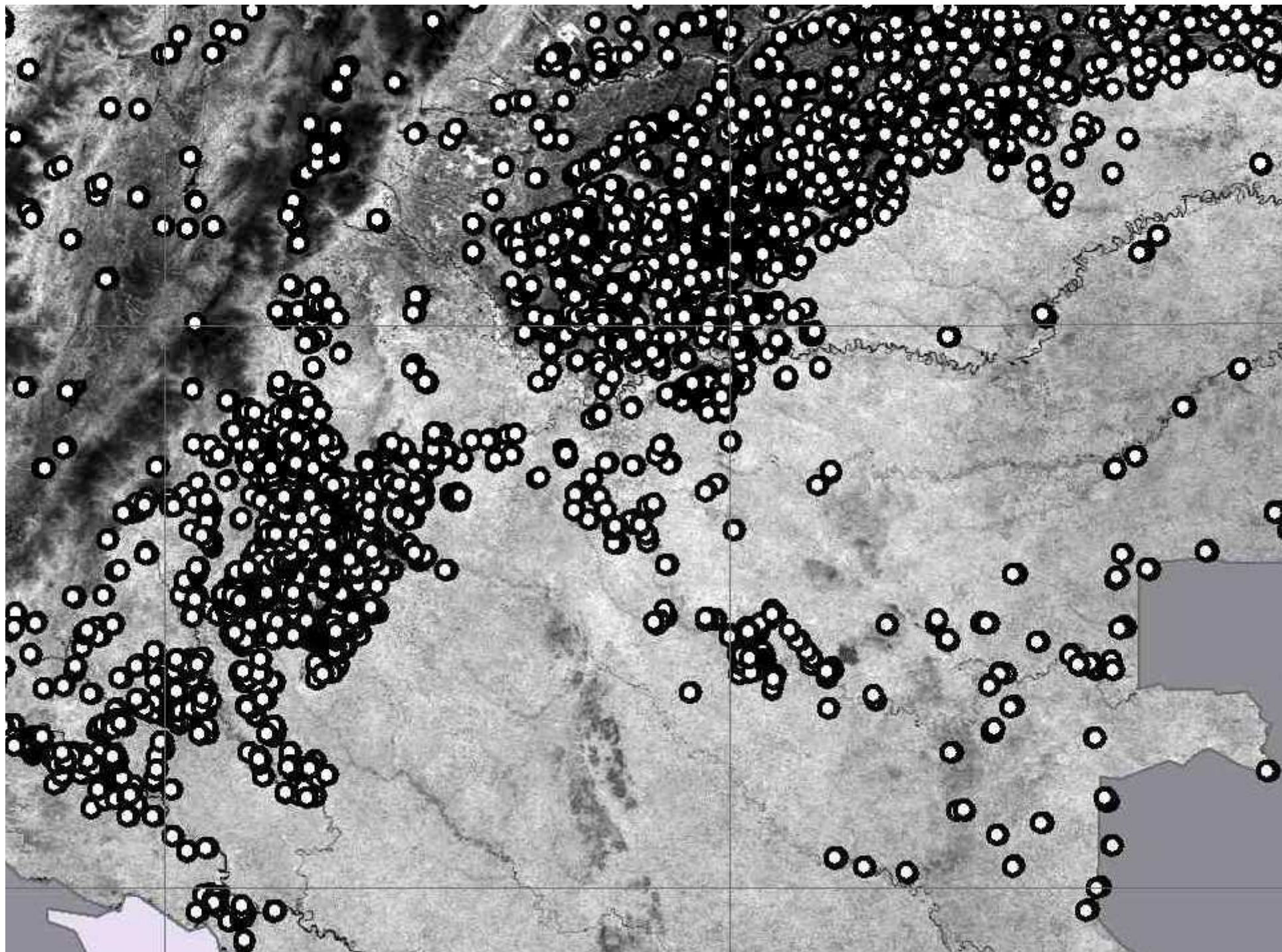
La detección de área quemada se fundamentan en el cambio de reflectividad de una superficie con vegetación a una superficie quemada. Por tanto puede ser detectada tanto con análisis temporales como de contexto.

L3JRC, basado en umbrales espaciales y datos del instrumento Vegetación SPOT

GLOBCARBON, basado en umbrales temporales y datos ATSR

MCD45, basado en un criterio de probabilidad temporal con datos MODIS

AQS, basado en umbrales y datos MCD43B4



4. MÉTODOS: EVALUACIÓN ÁREA QUEMADA.

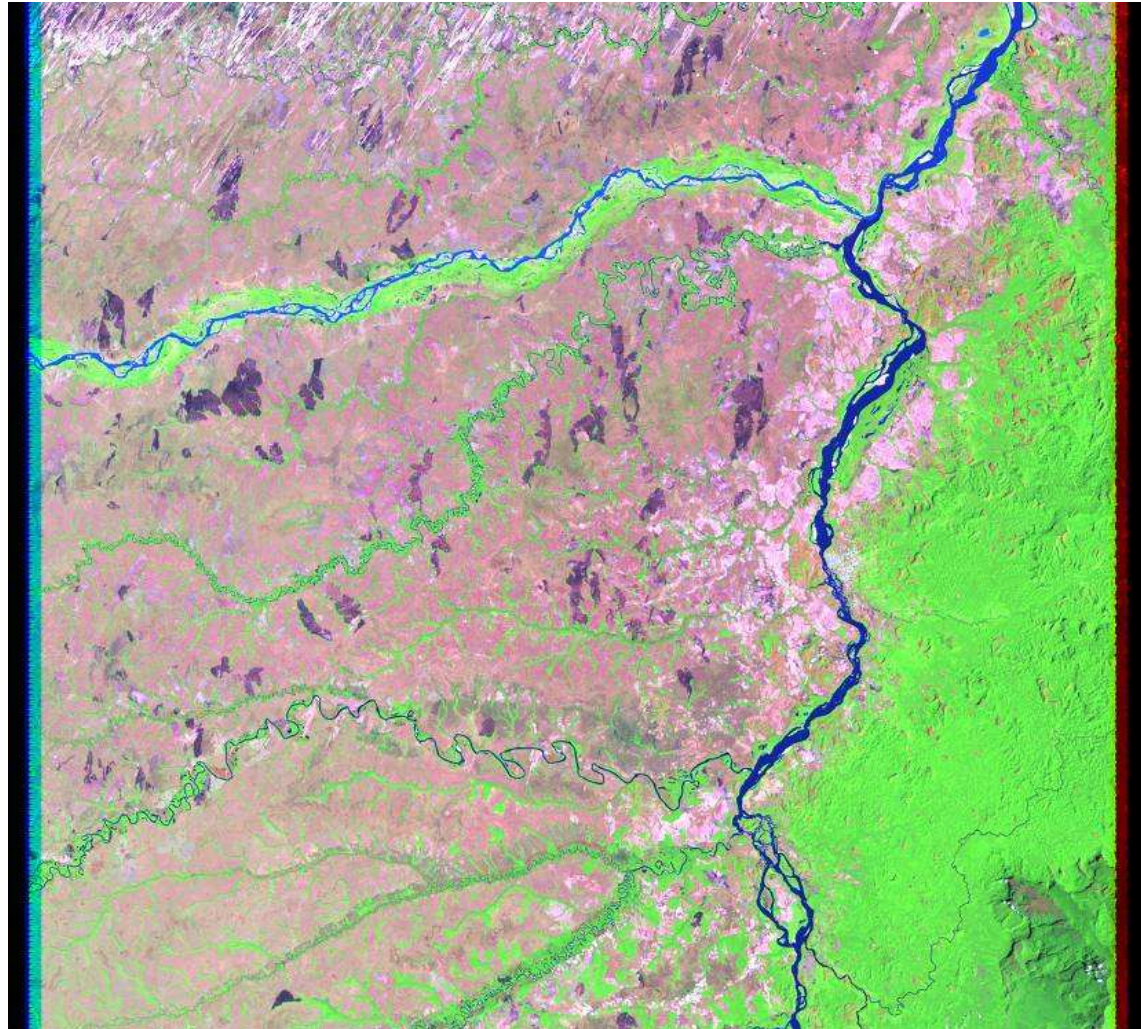
Las causas de error, y por tanto de disminución en fiabilidad de un producto de área quemada utilizando técnicas de teledetección son múltiples:

- Resolución espacial
- Confusión con algunas coberturas no vegetales (suelos oscuros, sombra de nubes, cuerpos de agua)
- Configuración compleja de las áreas quemadas en el paisaje (áreas pequeñas o muy fragmentadas)
- Severidad del incendio
- Interferencias atmosféricas (nubes y plumas de humo)
- Permanencia de la señal

4. MÉTODOS: EVALUACIÓN ÁREA QUEMADA.

IMÁGENES PARA
VALIDACIÓN
(verdad de campo):

Las imágenes de archivo son la única fuente para identificar áreas quemadas donde la señal se ha perdido. En total se identificaron 19 imágenes con información de área quemada en la zona de estudio Landsat y CBERS



4. MÉTODOS: EVALUACIÓN ÁREA QUEMADA.

Métodos de validación:

Matrices de confusión

Se superpuso el mapa de verdad de campo sobre cada uno de los mapas de área quemada y se comparó elemento a elemento acuerdos y desacuerdos entre las dos clases, quemado y no quemado

Con lo cual se determinó:

Una matriz para cada imagen con cada producto

Errores de omisión (Oe)

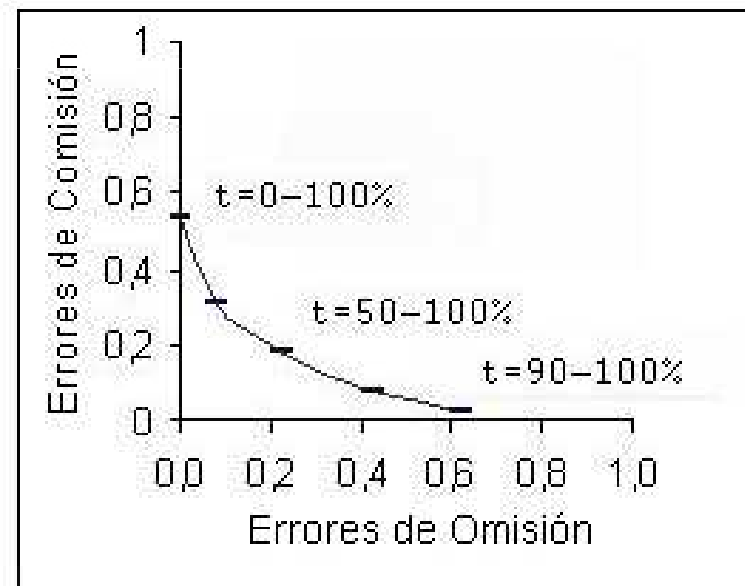
Errores de comisión (Ce)

Exactitud global

4. MÉTODOS: EVALUACIÓN ÁREA QUEMADA.

Métodos de validación:

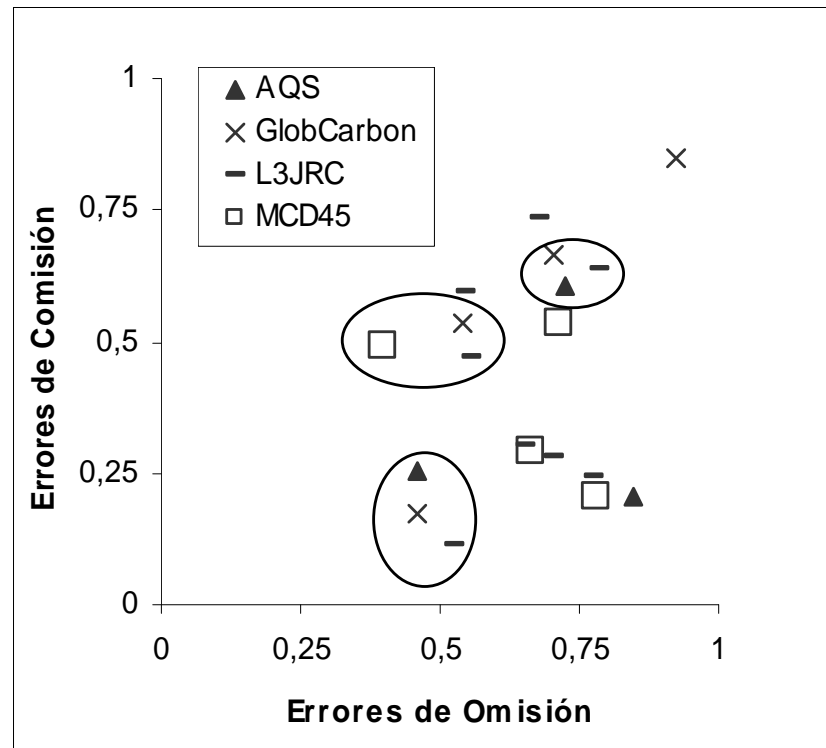
Límite de Pareto



4. RESULTADOS: ÁREA QUEMADA.

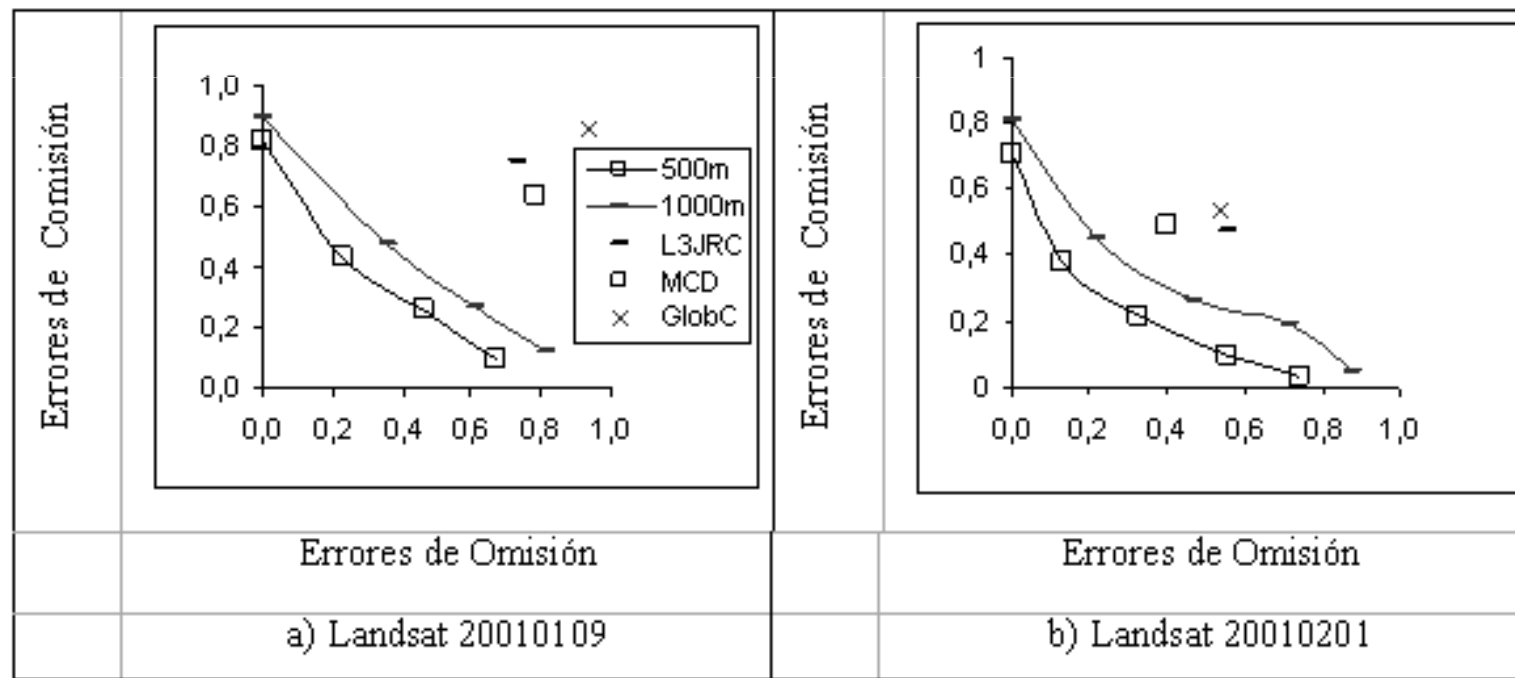
Matrices de confusión

Pares de errores de omisión y comisión calculados utilizando la matriz de confusión, las elipses incluyen Oe/Ce de tres escenas Landsat.



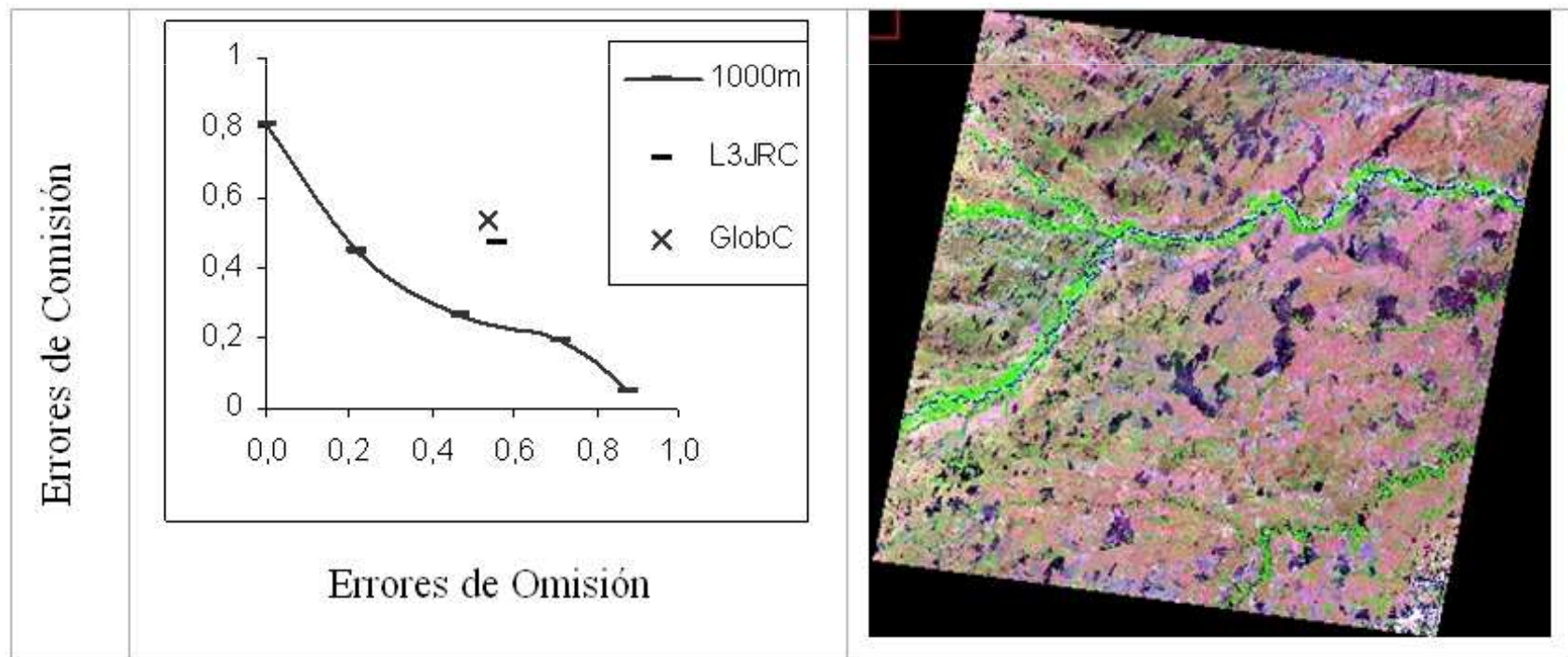
4. RESULTADOS: ÁREA QUEMADA.

Las líneas representan soluciones eficientes a diferentes umbrales (t) para definir el Límite de Pareto correspondiente a dos tamaños de píxel: 500 y 1000 metros. Los puntos corresponden a soluciones de las matrices de confusión



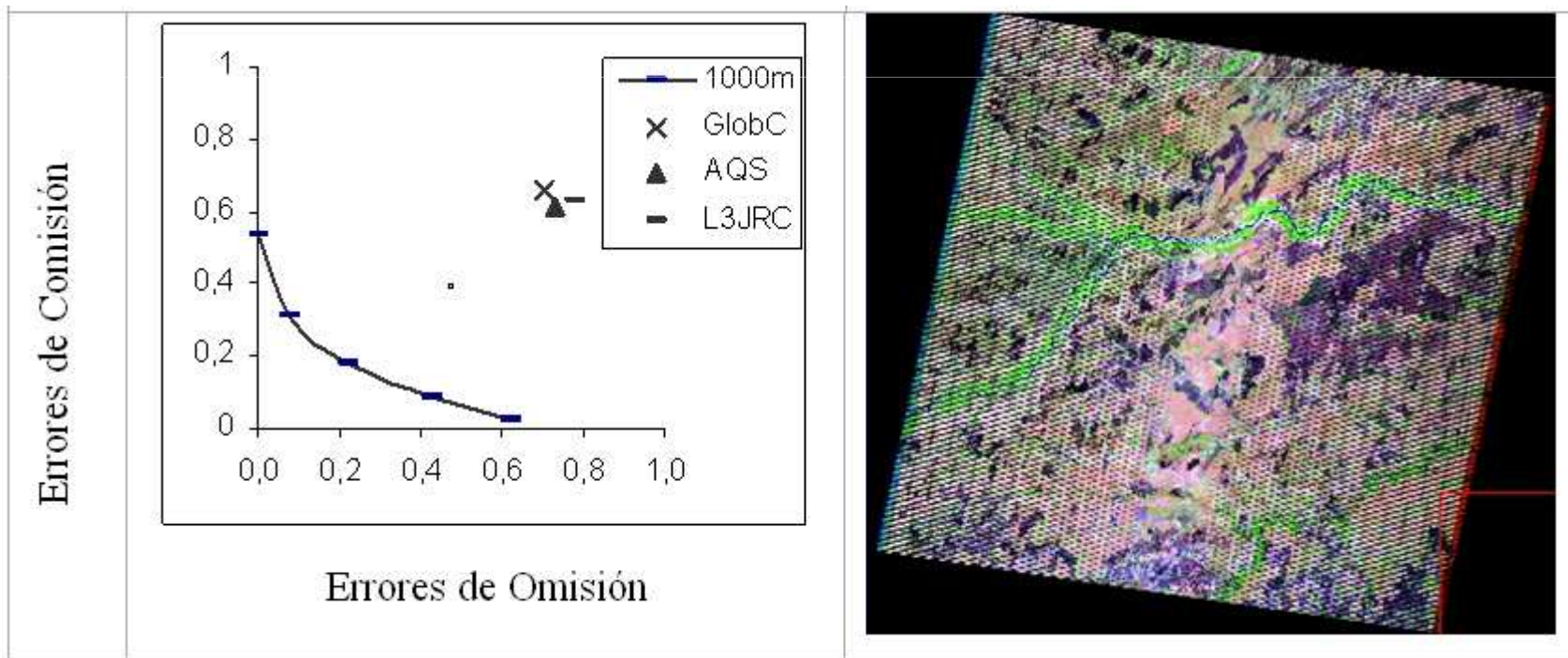
4. RESULTADOS: ÁREA QUEMADA.

Comparación de la distribución de áreas quemadas y los respectivos análisis de omisión y comisión



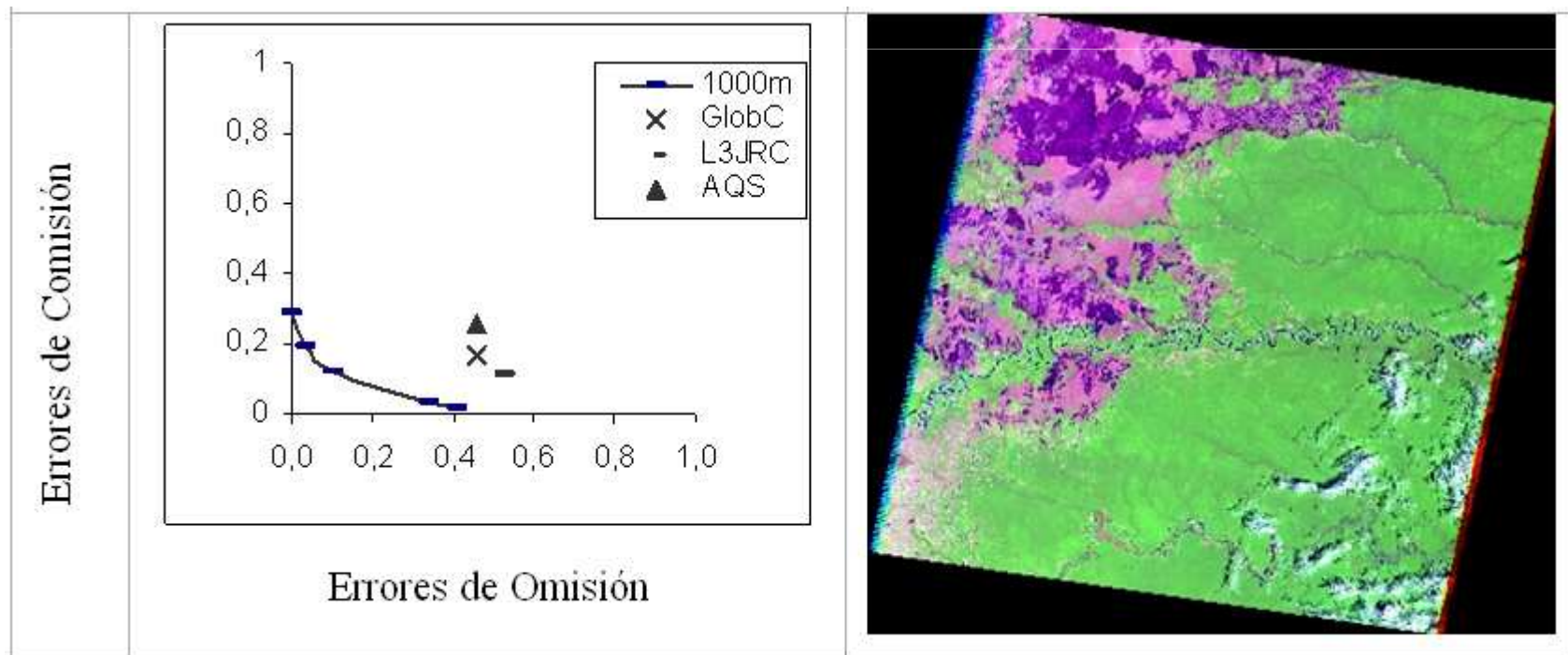
4. RESULTADOS: ÁREA QUEMADA.

Comparación de la distribución de áreas quemadas y los respectivos análisis de omisión y comisión



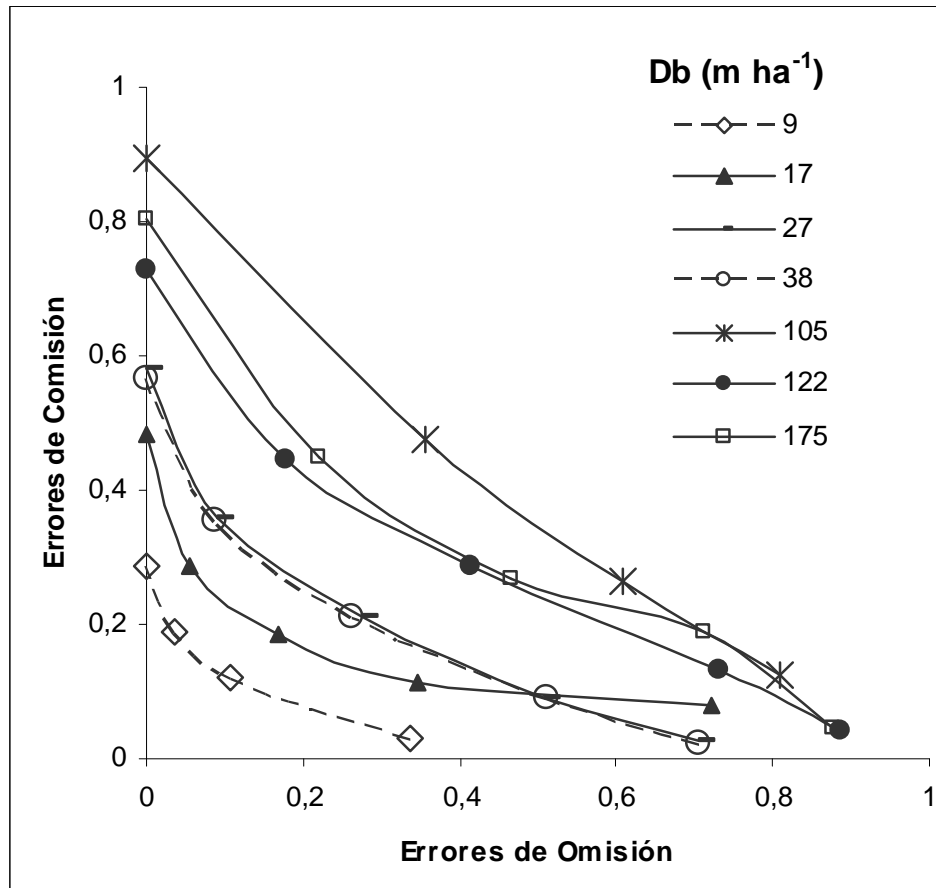
4. RESULTADOS: ÁREA QUEMADA.

Comparación de la distribución de áreas quemadas y los respectivos análisis de omisión y comisión



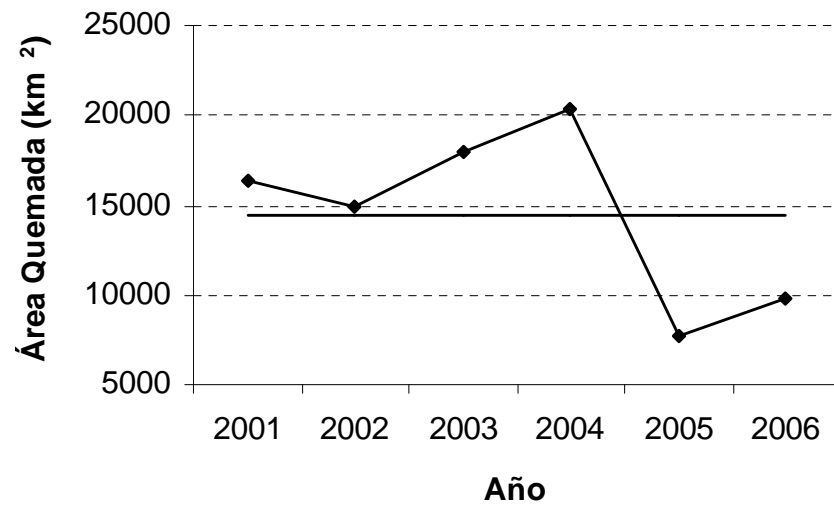
4. RESULTADOS: ÁREA QUEMADA.

Espacio no alcanzable para cada escena definido por el límite de Pareto ó solución eficiente con sus respectivos valores del índice de fragmentación

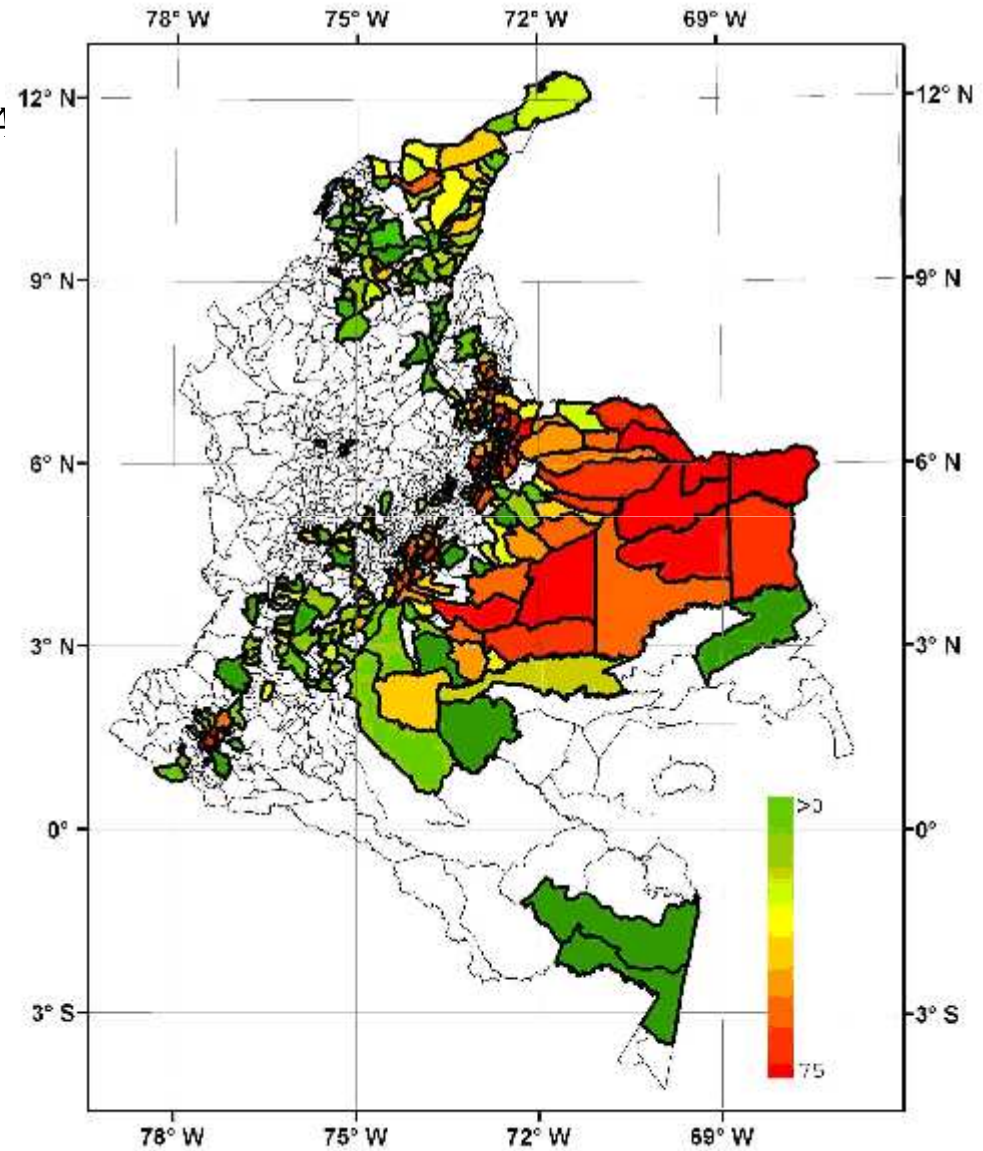


4. RESULTADOS: DISTRIBUCIÓN ÁREA QUEMADA.

Variación interanual de área quemada frente al promedio anual según L3JRC



*4. RESULTADOS:
DISTRIBUCIÓN ÁREA QUEMA*



4. MÉTODOS: EFICIENCIA DEL QUEMADO.

No toda la biomasa expuesta al fuego se quema y por tanto la fracción no-quemada debe excluirse de los cálculos.

Existen “valores estándar” de eficiencia del quemado BES para distintos ecosistemas obtenidos a partir de mediciones en campo, esto implica hacer mediciones de biomasa antes y después del fuego.

IGBP código	Clase IGBP	BV(%) ^a	BES(%) ^b
1	Conífera perennifolia	0,70	0,25
2	Froncosa perennifolia	0,70	0,41
4	Froncosa caducifolia	0,80	0,41
5	Bosque mixto	0,75	0,45
6	Matorral cerrado	0,73	0,50
7	Matorral abierto	0,69	0,60
8	Sabana arbolada	0,80	0,60
9	Sabana	0,70	0,35
10	Pastizal	0,05	0,95
11	Humedales	0,20	0,95
12	Cultivos	0,05	0,70
13	Área Construida	0,00	0,10
14	Mosaico de Cultivos	0,70	0,40
16	Suelo desnudo –Vegetación dispersa	0,05	0,70

4. MÉTODOS: EFICIENCIA DEL QUEMADO.

Métodos indirectos basados en teledetección se fundamentan en la humedad de la vegetación, asumiendo que los BES varían según el contenido de humedad, así:

$$EQ_{RGI} = ((1 - RGI) * BV + BM) * BES$$

$$\text{Donde, } RGI = (EVI_i - EVI_{\min}) / (EVI_{\max} - EVI_{\min})$$

Valores estándar de eficiencia del quemado BES, biomasa viva – biomasa muerta

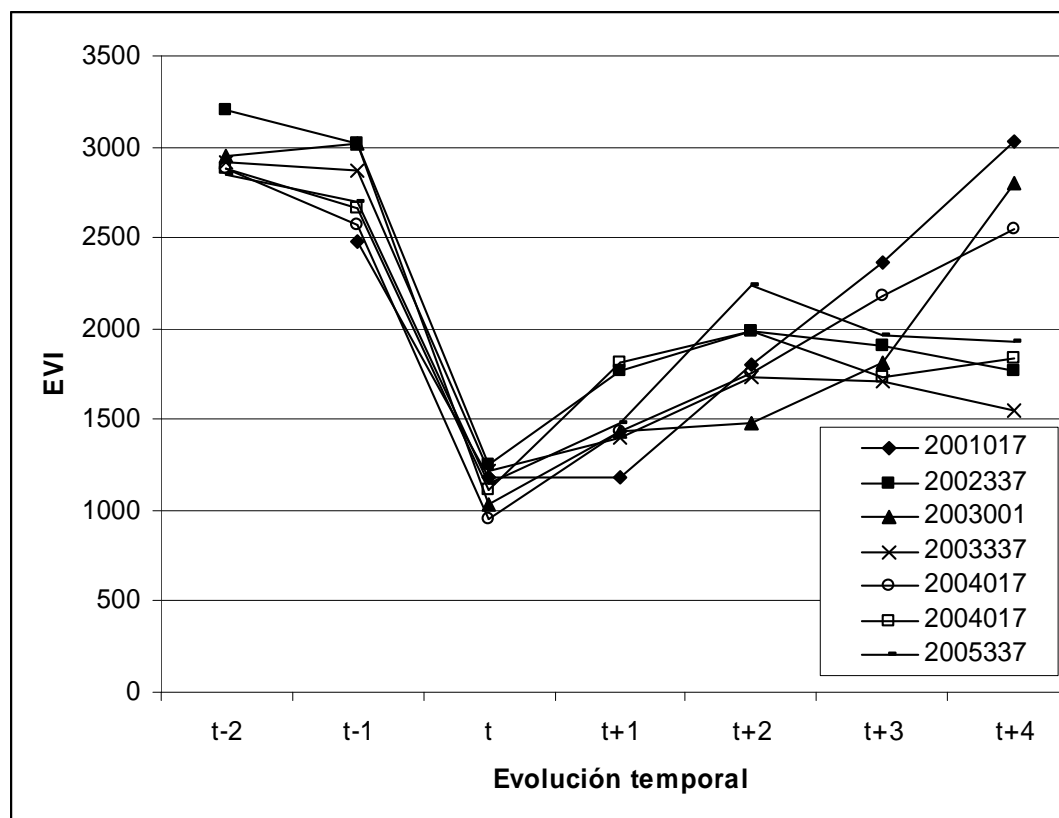
En nuestro caso se propone que la eficiencia del quemado se puede relacionar con la magnitud el cambio en EVI antes y después de la ocurrencia del **fuego en t**

$$\mathbf{DIF_EVI = EVI_t - EVI_{t-1}}$$

4. RESULTADOS: EFICIENCIA DEL QUEMADO.

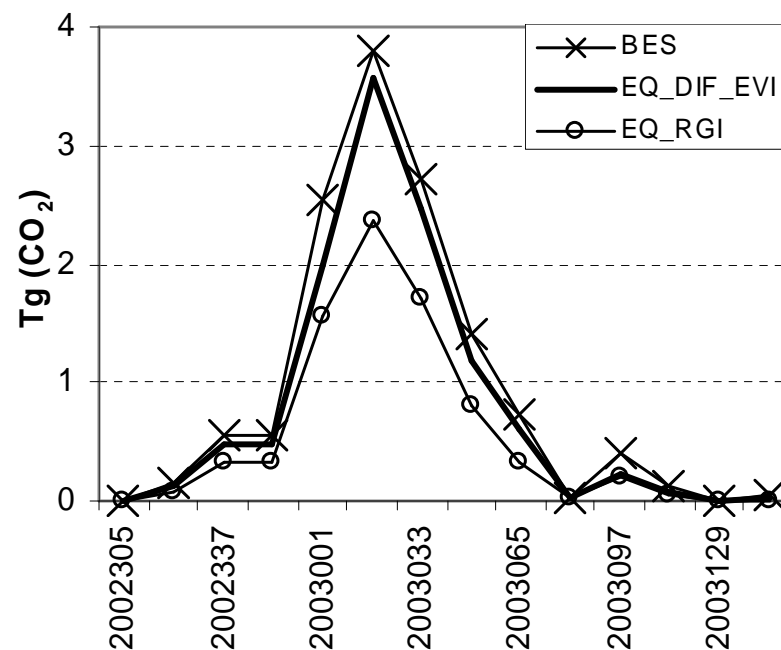
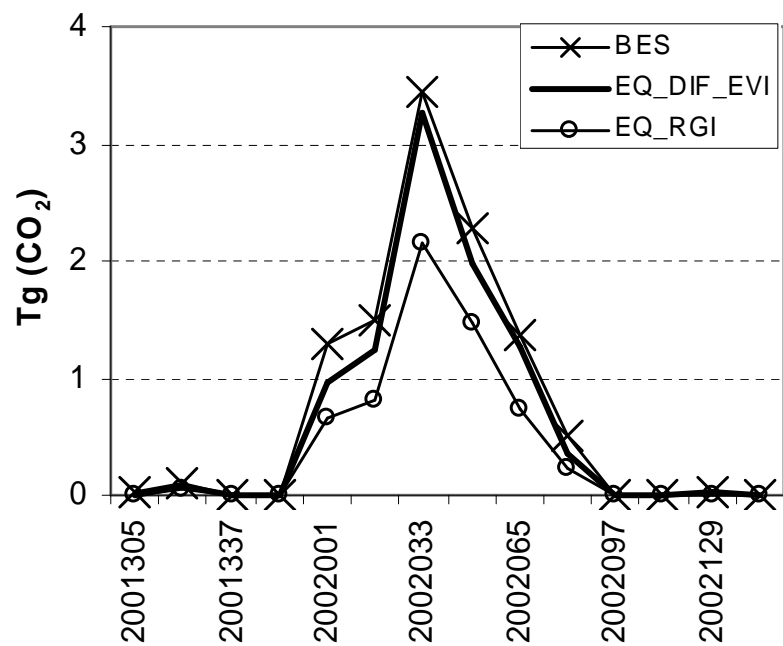
En nuestro caso se propone que la eficiencia del quemado se puede relacionar con la magnitud el cambio en EVI antes y después de la ocurrencia del **fuego en t**

$$\text{DIF_EVI} = \text{EVI}_t - \text{EVI}_{t-1}$$



4. RESULTADOS: EFICIENCIA DEL QUEMADO.

Diferencias en estimación de emisiones de CO₂ para toda Colombia según el método seleccionado de eficiencia del quemado.



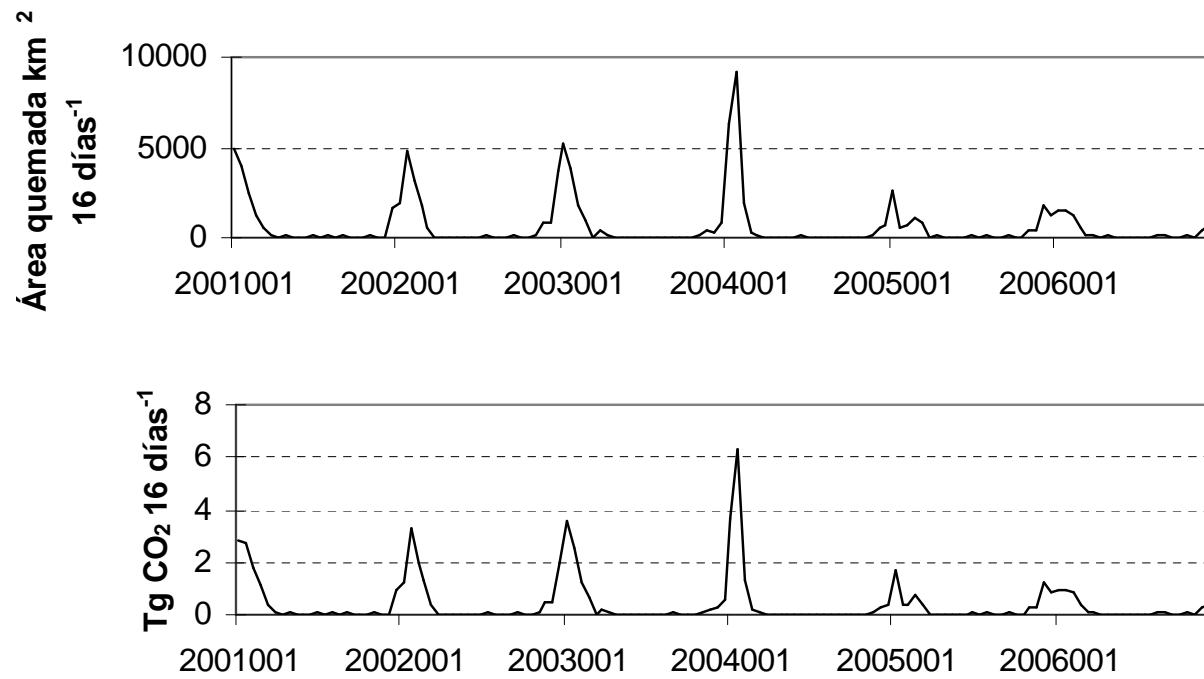
4. MÉTODOS: FACTORES DE EMISIÓN.

Factores de emisión (kg Mg⁻¹) adecuados a las clases IGBP en la zona de estudio (Wiedinmyer et al., 2006)

	Clase IGBP	CO ₂	CO	PM _{2,5}	NMHC	CH ₄
1	Coníferas perennifolias	1569	89	12,1	6,1	4,8
2	Frondosas perennifolias	1588	117	9,9	8,1	6,6
4	Frondosas caducifolias	1588	117	9,9	8,1	6,6
5	Bosque mixto	1569	82	15,0	6,8	4,5
6	Matorral cerrado	1630	84	5,6	3,2	3,1
7	Matorral abierto	1630	84	5,6	3,2	3,1
8	Sabana arbolada	1630	90	9,5	5,0	3,1
9	Sabana	1630	90	9,5	5,0	3,1
10	Pastizal	1630	90	9,5	5,0	3,1
11	Humedales	1630	84	5,6	3,2	3,1
12	Cultivos	1515	70	5,7	6,7	2,2
14	Mosaico de Cultivos	1515	70	5,7	6,7	2,2
16	Suelo desnudo – Veget. dispersa	1630	84	5,6	3,2	3,1

4. RESULTADOS: DISTRIBUCIÓN EMISIONES.

Emisiones anuales de CO₂ en Tg durante el periodo de estudio

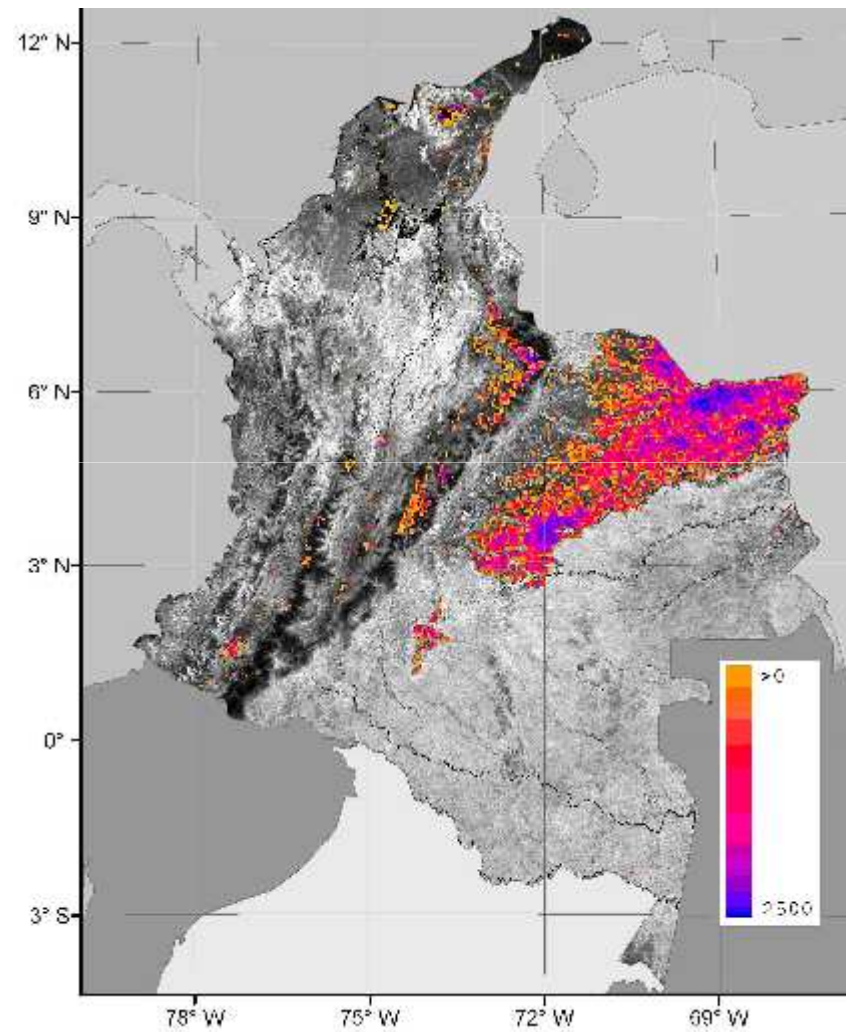


4. RESULTADOS: DISTRIBUCIÓN EMISIONES.

Emisiones anuales del país en Tg para material particulado PM₂₅, NMHC, CH₄, CO, CO₂

Año	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Promedio
PM ₂₅	0,0519	0,0569	0,0476	0,0619	0,0320	0,0322	0,0471
NMHC	0,0241	0,0262	0,0221	0,0285	0,0148	0,0155	0,0218
CH ₄	0,0131	0,0140	0,0119	0,0152	0,0080	0,0090	0,0119
CO	0,5707	0,6273	0,5246	0,6799	0,3555	0,3608	0,5198
CO ₂	10,4661	11,5083	9,6234	12,4774	6,5375	6,1032	9,4527

*4. RESULTADOS:
DISTRIBUCIÓN EMISIONES.*



ESQUEMA GENERAL

1. Introducción

- Los trópicos y el carbono
- Importancia
- Objetivos

2. Revisión de literatura

- Métodos para estimar emisiones
Que falta?

3. Métodos

- Área de estudio y datos de entrada
- Método de Seiler y Crutzen
- Datos de entrada

4. Métodos y Resultados

- Biomasa
- Área quemada
- Eficiencia del quemado
- Factores de emisión
- Análisis espacial de área quemada y emisiones
- Análisis temporal de área quemada y emisiones

5. Conclusiones

- Resumen de resultados e implicaciones
- Limitaciones
- Investigación futura

5. CONCLUSIONES

En términos de biomasa se estima que unos 15,8 Pg en su mayoría de bosques primarios

La temporada de incendios comienza a principios de Noviembre y termina a mediados de Abril, el mes de mayor ocurrencia es Enero. El total de área que ha sufrido alguna quema entre Enero de 2001 y Diciembre de 2006 es de 46.431 km² con un promedio anual de 14.480 km² quemados

Se estima que el 21% de la región de la Orinoquía esta sometida a quemas

5. CONCLUSIONES: RESUMEN DE RESULTADOS.

ESTADO ACTUAL DE LA ESTIMACION DE EMISIONES EN COLOMBIA

El total anual de emisiones por biomasa quemada entre el periodo 2001-2006 es de 9,45 Tg CO₂ año⁻¹, de los cuales la Orinoquía aporta el 90%, la región Andina el 6%, y la Amazonía, la Caribe y la Pacífica el 4% restante. La variabilidad es especialmente alta, con picos de actividad mayor en el año 2004 y actividad menor en el año 2005 donde después de un año muy activo en la ocurrencia del fuego continua un año muy inactivo. La mayor superficie de área quemada se presenta en ecosistemas de sabana, pastizal y matorral que suman más de 85.000 km² todos los años, si bien los bosques presentan más de 2.000 km² quemados durante los 6 años de estudio.

5. CONCLUSIONES: RESUMEN DE RESULTADOS.

La alta densidad de focos de calor en zonas de la Amazonía sugiere que este método omite buena parte de los incendios forestales.

Los errores de comisión en los cuatro productos evaluados son menores que los errores de omisión. Por esta razón es necesario buscar nuevas alternativas para detectar incendios de menor tamaño

5. CONCLUSIONES.

Investigación futura

El uso de datos LiDar es la mejor opción para generar mapas de biomasa de alto nivel de detalle

Información derivada de fuegos activos como el World Fire Atlas (WFA) podría ser complementario a los productos de áreas quemadas en bosques de Sudamérica y Sur Oriente de Asia.

Avanzar en el análisis de series temporales para datos satelitales, como por ejemplo TIMESAT

Las zonas de páramo deben ser objeto de un estudio más detallado, estas regiones han sufrido una gran presión por quema para renovación de pastizales

Finalmente se encontró de interés el uso de los incendios como variable explicativa de la deforestación y degradación de bosques

*SE ESPERA A FUTURO TENER TODOS LOS RESULTADOS EN UN
SERVIDOR DE MAPAS*

<http://64.76.85.28/janaya/index.html>

janaya@udem.edu.co

