

## Inventario y Análisis de Áreas Quemadas en la Cuenca Pacífico Norte, México para la Temporada 2011

MC. José Carlos Beltrán González  
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio  
Universidad Autónoma de Sinaloa  
[jose.beltran@info.uas.edu.mx](mailto:jose.beltran@info.uas.edu.mx)

### Workshop RedLaTIF 2017

“Estimación del Área Quemada en América Latina Utilizando un Entorno Virtual Colaborativo”

CONABIO- Ciudad de México

01-03 agosto 2017



**CONABIO**  
COMISIÓN NACIONAL PARA EL  
CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD



Ciudad de México, Agosto de 2017

## INTRODUCCIÓN

- ❖ La función que desempeña el fuego es ambigua y de gran relevancia (FAO, 2007):
  - ✓ Es esencial para mantener la dinámica activa de los ecosistemas, la preservación de la biodiversidad y necesario en algunos casos para la transformación de los usos de suelo.
  - ✓ Cada año se destruyen grandes extensiones de superficie forestal, ocasionando pérdidas humanas, en la fauna y daños económicos derivados de los recursos naturales destruidos.
- ❖ Se considera como un proceso natural, pero las actividades humanas juegan un papel importante en la alteración de sus condiciones (frecuencia, intensidad, temporada y severidad) (Leblon, et al., 2012).
- ❖ El estudio de incendios forestales y sus causas, son importantes a escala global, regional y local, ya que en cada una influyen distintas variables que degradan los ecosistemas (Chuvieco & Justice, 2010).



## ANTECEDENTES

### Reseña histórica sobre el estudio de incendios:

#### «A nivel internacional»

- ❖ El estudio de incendios forestales, surge a partir de las *estadísticas FRA (Global Forest Resources Assessments)* de la **FAO**.
- ❖ Año 2000 – primer inventario global de incendios forestales.
  - ✓ Evaluaciones realizadas a partir de encuestas.
- ❖ En el reporte FRA 2015, se indicó en el período 1988-2012 para *México* (FAO, 2015):
  - ✓ 205,288 incendios
  - ✓ 7,105,553 ha
  - ✓ Promedio anual de 8,212 incendios con 284,222 ha.
- ❖ En 2011, se reportó un total de 956,000 ha.

#### «En México»

- ❖ En 2001 se crea la CONAFOR.
  - ✓ Acervo estadístico de incendios: 1995-2016.
- ❖ En el periodo 1995-2012, se reportaron:
  - ✓ 151,426 incendios
  - ✓ 5,339,245 ha.
  - ✓ Promedio anual de 8,413 incendios y 296,625 ha.
- ❖ En el año **2011**, se reportaron **12,113 incendios**, en una superficie de **956,405 ha** (CONAFOR, 2011).
  - ✓ Estados más afectados: Coahuila, Chihuahua, Quintana Roo, Sonora, Zacatecas y Durango, abarcando cerca del **77.3%** del total de incendios reportados para todo el territorio nacional.



## ANTECEDENTES

### Tipo de datos utilizados en el estudio de incendios:

<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Landsat               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSS</li> <li>▪ TM</li> <li>▪ ETM+</li> <li>▪ OLI</li> </ul> </li> </ul>	}	15-120 m
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ NOAA               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AVHRR</li> </ul> </li> </ul>	}	1.1 km
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MODIS</li> </ul>	}	- 250 m - 500 m - 1 km



## ANTECEDENTES

### Técnicas utilizadas para el realce de áreas quemadas:

#### ❖ Índices de área quemada

- ✓ NBR (Key & Benson, 2006)
- ✓ BAI (Martin I. & Chuvieco S., 1998)
- ✓ BAIM (Martin, *et al.*, 2006)
- ✓ IBAIM (Gómez Nieto & Martin, 2007)

#### ❖ Índices de vegetación

- ✓ NDVI (Rouse *et al.*, 1974)
- ✓ RVI (Wu, 2014)
- ✓ SAVI (Huete, 1988)
- ✓ EVI (Yamamoto, *et al.*, 2012)
- ✓ EVI2 (Jiang, *et al.*, 2008)
- ✓ GEMI (Pinty & Verstraete, 1992)

#### ❖ Técnicas de transformación espectral

- ✓ IHS (Al-Wassai, *et al.*, 2011)
- ✓ PCA (Collins & Woodcock, 1996)
- ✓ LSU (Shimabukuro, *et al.*, 2009)
- ✓ TC (Kauth & Thomas, 1976)



## ANTECEDENTES

### Técnicas utilizadas para la discriminación de áreas quemadas:

#### ❖ *Clasificación de píxel a píxel (supervisadas, no supervisadas o híbridas)*

- ✓ Máxima probabilidad
- ✓ Mínima distancia
- ✓ Distancia de Mahalanobis
- ✓ Por paralelepípedos
- ✓ Árboles de decisión

#### ❖ *Análisis multi-temporales o de una sola imagen post-incendio:*

- ✓ Modelos de regresión logística
- ✓ Redes neuronales
- ✓ Máquinas de soporte vectorial

#### ❖ *Clasificación de contexto espacial:*

- ✓ Segmentaciones – crecimiento de regiones



## NECESIDADES

- ❖ Aunque ya se han realizado algunos trabajos, en México hace falta el desarrollo de productos cartográficos, locales o nacionales, que permitan analizar la distribución y comportamiento de los incendios ocurridos sobre el territorio.
- ❖ Existen inventarios globales de área quemada (AQ), pero en algunos casos la metodología utilizada indica un *muestreo sistemático* en la obtención de las imágenes, lo cual *excluye* una *gran superficie*, generalizando y dando pauta a la sobre estimación o subestimación de AQ.
- ❖ Las imágenes satelitales más utilizadas en el estudio de incendios han sido del sensor MODIS.
- ❖ Hantson, *et al* (2013) muestra que se obtienen buenos resultados principalmente en áreas quemadas con superficies > 500 has.
- ❖ Según el reporte de CONAFOR en 2011, el 91% de los incendios ocurrieron en superficies menores a 51 ha.
- ❖ **Desarrollar productos cartográficos con resoluciones espaciales óptimas para la detección de área quemada.**

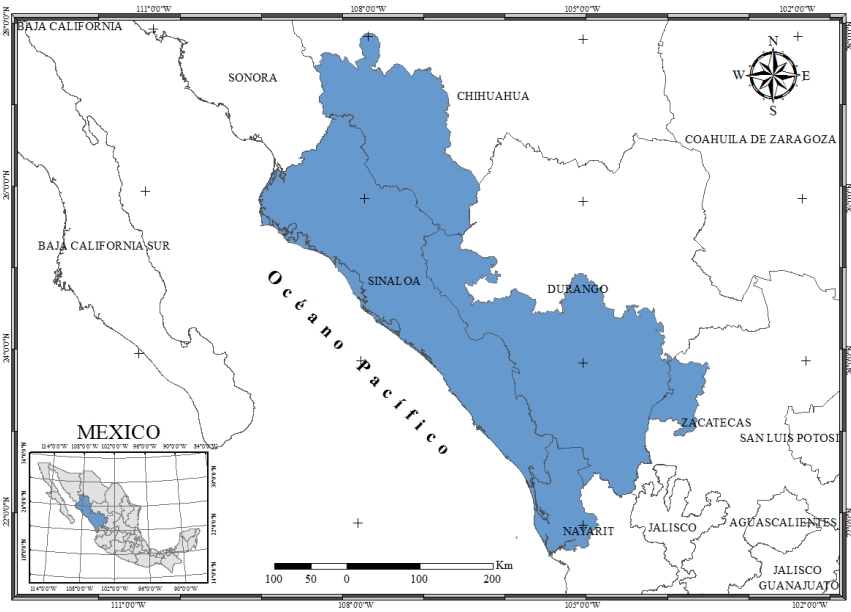


## OBJETIVOS

- ✓ Definir una metodología para obtener de manera semiautomática la cartografía de área quemada.
- ✓ Evaluar las técnicas de clasificación digital de imágenes utilizadas en la detección de AQ.
- ✓ Hacer un inventario de AQ de la cuenca Pacífico Norte (PN) para la temporada de incendios de 2011.
- ✓ Analizar la distribución geográfica de los incendios ocurridos en la cuenca PN durante la temporada de incendios de 2011.
- ✓ Comparar las áreas quemadas obtenidas de este proceso metodológico, con las superficies reportadas en los partes oficiales de incendio de CONAFOR.



**ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS**



**Cuenca Pacífico Norte**  
«RHA-III»

- 15,201,686 ha
- 8% de la superficie total de México
- **Uso de Suelo y Vegetación:**
  - Bosque – 45%
  - Selva – 20%
  - Agricultura de temporal – 11%
- **Climas :**
  - Templado subhúmedo – 39%
  - Cálido subhúmedo, frío – 22% c/u
- **Suelos:**
  - Litosol – 28%
  - Regosol – 26%
  - Feozem – 14%
  - Cambisol – 12%
- **Relieve:**
  - Sierra – 45%
  - Meseta – 22%
  - Llanura – 19%



**ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS**

**Imágenes satelitales**

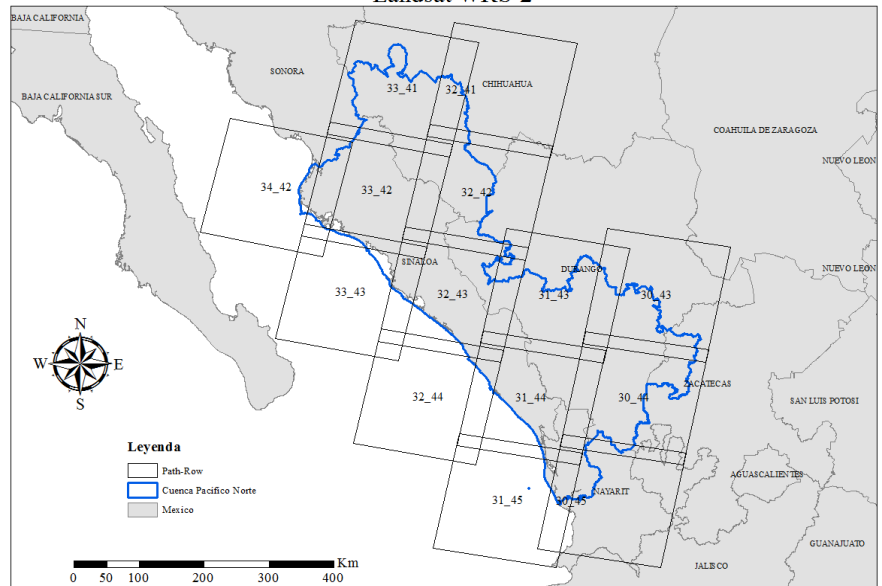
**Landsat**

- 5 TM } -14 Path-Row
- 7 ETM+ } -18 Escenas

**Conjuntos vectoriales**

- Uso de Suelo y Vegetación
- Unidades climáticas
- Tipos de suelo (edafología)
- Provincias fisiográficas (relieve)

**Landsat WRS-2**

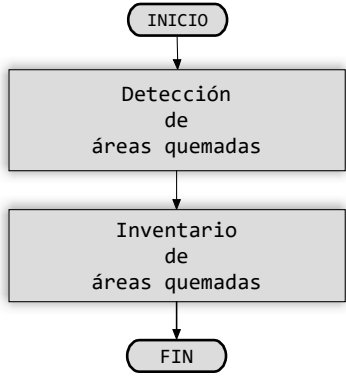


**Leyenda**

- Path-Row
- Cuenca Pacífico Norte
- México

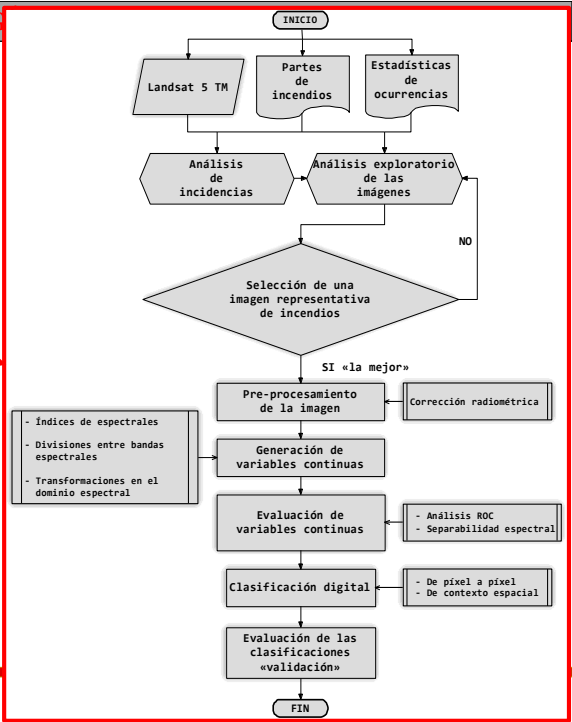
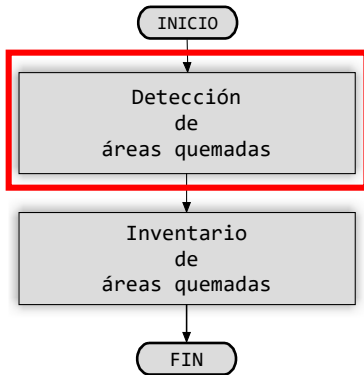


**METODOLOGÍA**



**METODOLOGÍA**

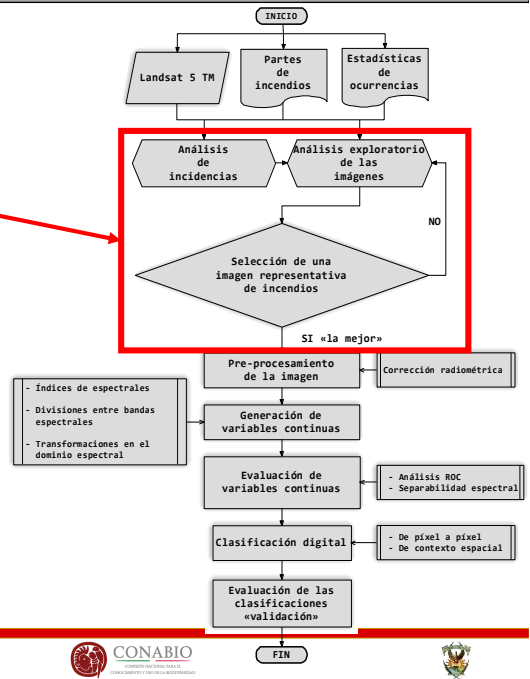
**ESQUEMA METODOLÓGICO «Primera Fase»**



**METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**  
«Primera Fase»

➤ **I-1. Análisis de incidencias y Exploratorio de imágenes**



**METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

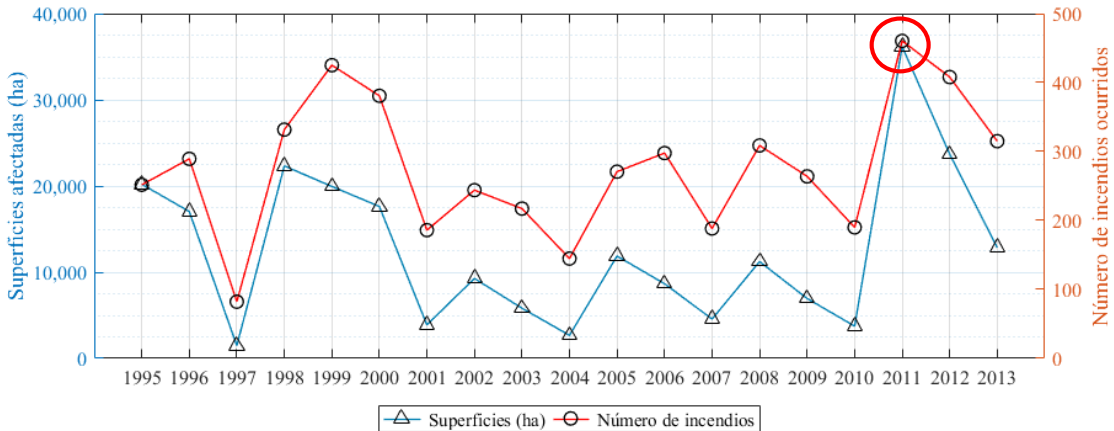
**I-1. ANÁLISIS DE INCIDENCIAS Y EXPLORATORIO DE IMÁGENES**

❖ **Análisis de incidencias:**

- Se llevó a cabo un análisis de las estadísticas de incendios ocurridos en el período 1995-2013

❖ **Análisis exploratorio, espacio-temporal:**

- Se realizó un análisis exploratorio-visual sobre las 14 escenas Landsat que cubren la cuenca.

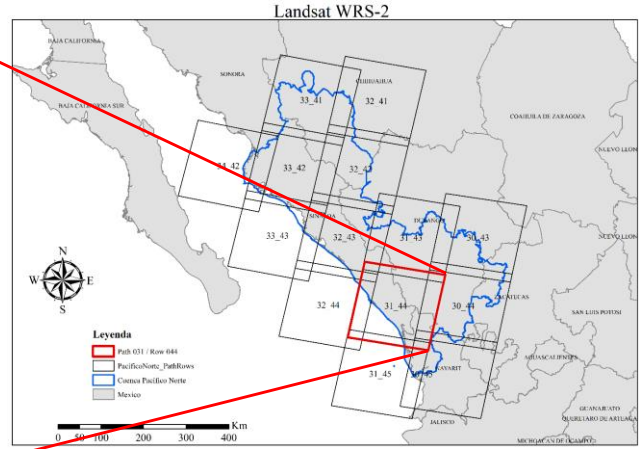
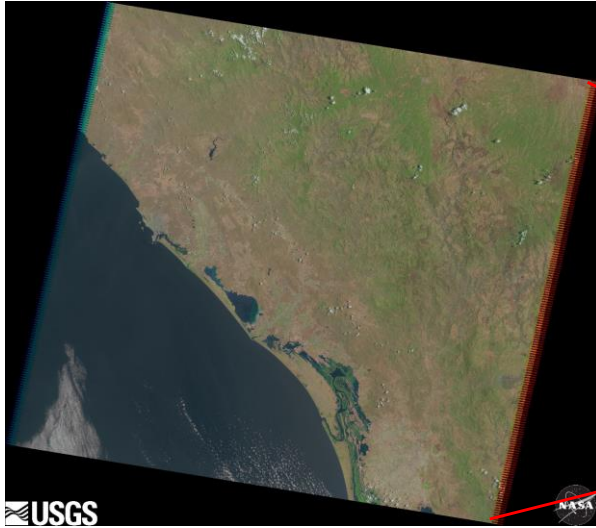


Ocurrencia media de incendios en los 5 Estados de la cuenca Pacífico Norte durante el periodo 1995-2013.



**METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

Path-Row: 031-044



Fuente: U.S. Department of the Interior; U.S. Geological Survey. <http://earthexplorer.usgs.gov/>



**METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**

«Primera Fase»

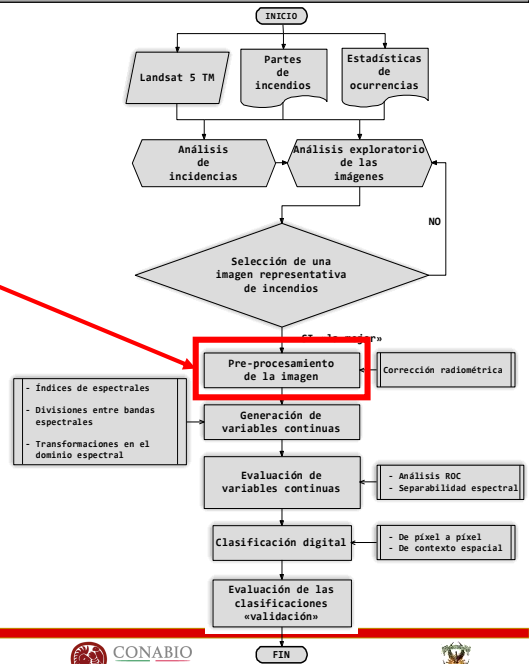
**I-2. Pre-procesamiento de la imagen**

- «Corrección Radiométrica»

Reflectividad (Chander, *et al.*, 2009).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{E_{0,\lambda} \cos \theta_s}$$

→ Conversión de ND digitales a valores físicos ( $\rho_{\lambda}$ )



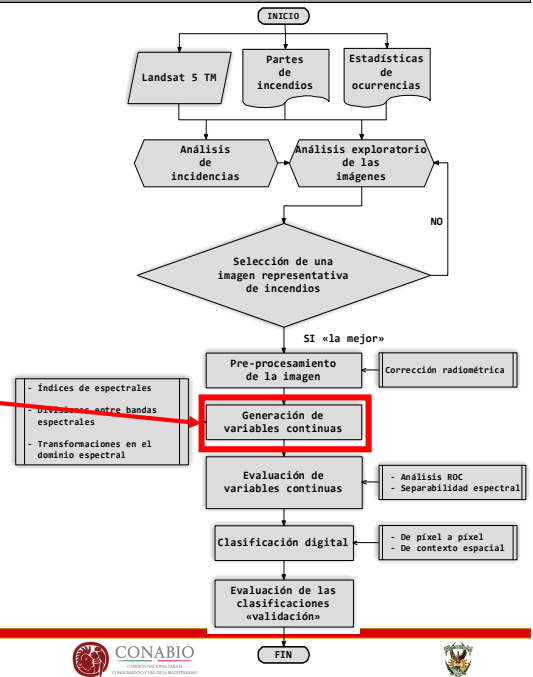


## METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»

### ESQUEMA METODOLÓGICO «Primera Fase»

#### I-3. Variables continuas

- Índices espectrales
- División entre bandas espectrales
- Transformación espectral



## METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»

### I-3. VARIABLES CONTINUAS

#### Índices de vegetación

- ✓ NDVI
- ✓ RVI
- ✓ SAVI
- ✓ EVI
- ✓ EVI2

#### Índices de AQ

- ✓ NBR
- ✓ BAI
- ✓ BAIM
- ✓ IBAIM

#### Divisiones entre bandas

- ✓  $br_1 \rightarrow 7/5$
- ✓  $br_1 \rightarrow 7/4$
- ✓  $br_1 \rightarrow 4/5$

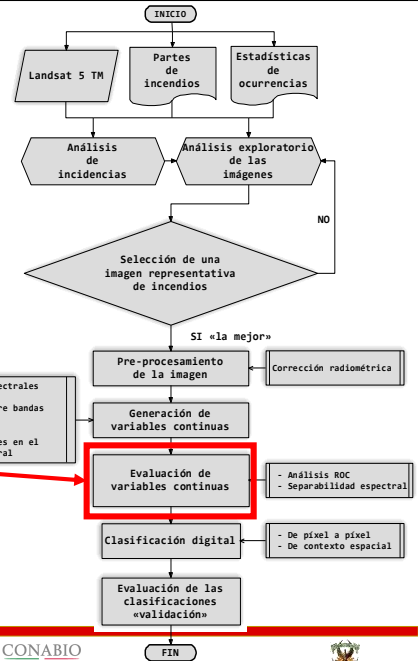
#### Transformaciones espectrales

- PCA
  - ✓ PCA-1,2,3,...,6
- LSU
  - ✓ Quemado
  - ✓ Vegetación
  - ✓ Suelo
- TC
  - ✓ Brightness
  - ✓ Greenness
  - ✓ Third



**METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**  
«Primera Fase»



**I-4. Evaluación de variables continuas:**

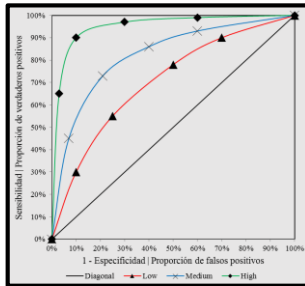
- Análisis ROC
- Separabilidad espectral



**METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-4. EVALUACIÓN DE VARIABLES CONTINUAS**

- ROC
  - ✓ Sensibilidad
  - ✓ AUC



- Separabilidad espectral
  - ✓ Distancia normalizada

$$M = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{S_a + S_b}$$

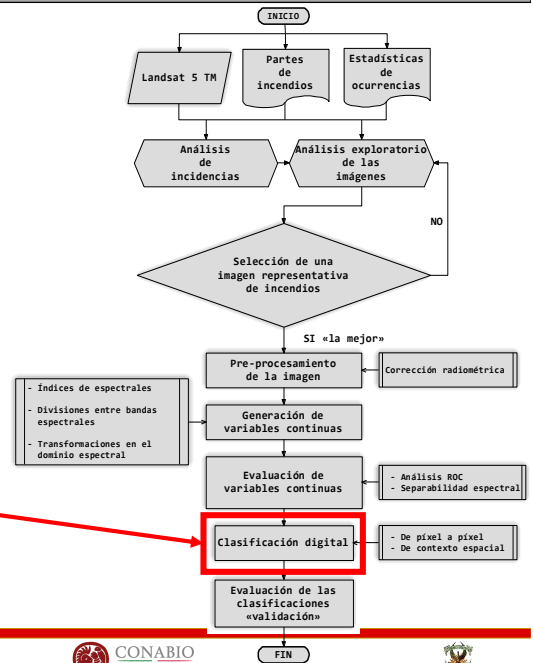
Compuesto de 30 variables continuas.

Banda	Compuesto	Variable
B1	Blue	(0.452-0.518 μm)
B2	Green	(0.528-0.609 μm)
B3	Red	(0.626-0.693 μm)
B4	“Landsat 5 TM”	NIR (0.776-0.904 μm)
B5		SWIR 1 (1.567-1.784 μm)
B6		SWIR 2 (2.097-2.349 μm)
B7	Quemado	Quemado
B8	LSU	Vegetación
B9	Suelo	Suelo
B10	PCA	PCA - 1
B11		PCA - 2
B12		PCA - 3
B13		PCA - 4
B14		PCA - 5
B15		PCA - 6
B16	Tasseled Cap	Brightness
B17		Greenness
B18		Third
B19		NDVI
B20	Índices de vegetación	RVI
B21		SAVI
B22		EVI
B23		EVI2
B24		NBR
B25	Índices de área quemada	BAI
B26		BAIM
B27		IBAIM
B28	Divisiones entre bandas	br <sub>1</sub> : 7/5
B29		br <sub>2</sub> : 7/4
B30		br <sub>3</sub> : 4/5



## METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»

### ESQUEMA METODOLÓGICO «Primera Fase»



#### I-5. Clasificación digital

- De píxel a píxel
- De contexto espacial

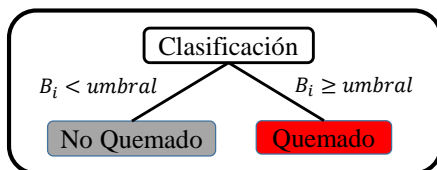


## METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»

### I-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL

#### De píxel a píxel

- ✓ Árboles de Decisión
- ❖ Definición de umbrales de clasificación
  - CART
  - QUEST
- ❖ Discriminación de píxeles



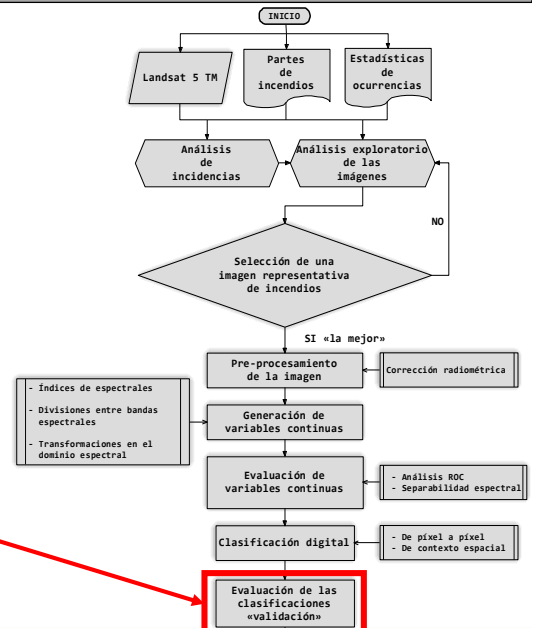
#### De contexto espacial

- ❖ Segmentación por crecimiento de regiones
  - SC: 70-10
  - SC: 80-10
- ❖ Clasificación digital:
  - Isoseg
  - 5 iteraciones
  - Umbral de aceptación: 95%



## METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»

### ESQUEMA METODOLÓGICO «Primera Fase»



#### I-6. Validación

- Por matriz de confusión
- Por análisis de regresión



## METODOLOGÍA «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»

### I-6. VALIDACIÓN | Evaluación de las técnicas de clasificación

#### Por matriz de confusión

##### ❖ Indicadores de precisión

- ✓ Precisión global: PG
- ✓ Precisión del productor: PP
- ✓ Precisión del usuario: PU
- ✓ Error de omisión:  $eo$
- ✓ Error de comisión:  $ec$
- ✓ Índice estadístico Kappa:  $k$

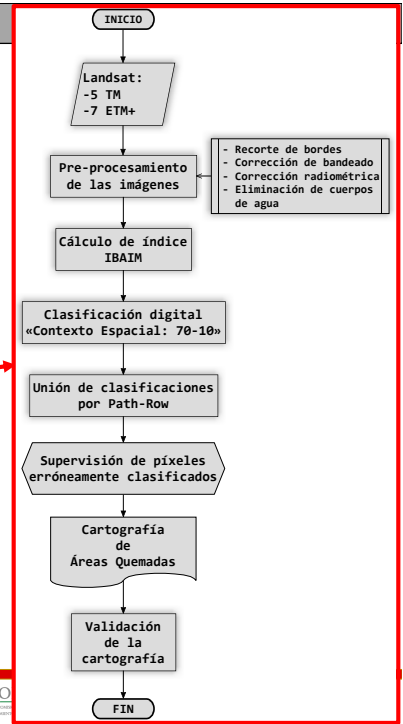
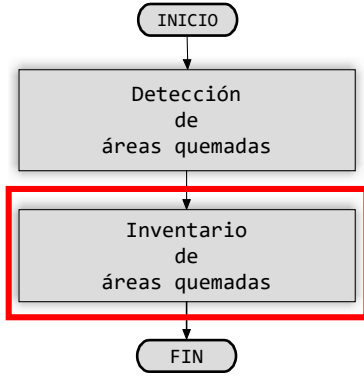
#### Por análisis de regresión

- ✓ Coeficiente de correlación ( $r$ )



**METODOLOGÍA**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**  
«Segunda Fase»

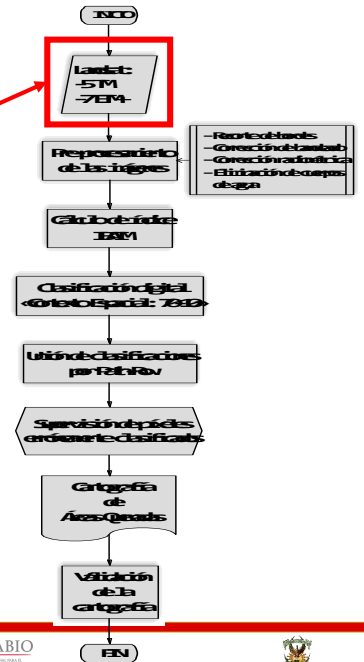


**METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**  
«Segunda Etapa»

**II-1. Obtención de las imágenes Landsat**

- Descarga
- Exploración visual y depuración



**METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-1. OBTENCIÓN DE LAS IMÁGENES:**  
«descarga, análisis y depuración»

Escenas Landsat utilizadas en el estudio (Fase II).

No.	Escena	Path-Row	Fecha	Día del Año	Sensor
01	LT50300432011147CHM01	030-043	27/May/2011	147	TM
02	LT50300442011147CHM01	030-044	27/May/2011	147	TM
03	LT50300452011147CHM01	030-045	27/May/2011	147	TM
04	LT50310432011138CHM01	031-043	18/May/2011	138	TM
05	LT50310432011170EDC00		19/Jun/2011	170	TM
06	LT50310442011138CHM01	031-044	18/May/2011	138	TM
07	LT50310442011170EDC00		19/Jun/2011	170	TM
08	LT50310452011138CHM01	031-045	18/May/2011	138	TM
09	LT50320412011145EDC00	032-041	25/May/2011	145	TM
10	LT50320412011177EDC00		26/Jun/2011	177	TM
11	LT50320422011161CHM01	032-042	10/Jun/2011	161	TM
12	LT50320432011161CHM01	032-043	10/Jun/2011	161	TM
13	LT50320442011097EDC00	032-044	07/Abr/2011	097	TM
14	LT50330412011136EDC00	033-041	16/May/2011	136	TM
15	LE70330412011176EDC00		25/Jun/2011	176	ETM+
16	LE70330422011160EDC00	033-042	09/Jun/2011	160	ETM+
17	LT50330432011024EDC00	033-043	24/Ene/2011	024	TM
18	LT50340422011159CHM01	034-042	08/Jun/2011	159	TM

- ❖ Descarga de imágenes:
  - ✓ Temporada de incendios 2011: enero-agosto
  - ✓ Sensores TM y ETM+
- ❖ Análisis exploratorio visual para depuración
  - ✓ Imágenes con nubosidad

Fuente: USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/bulk/>)

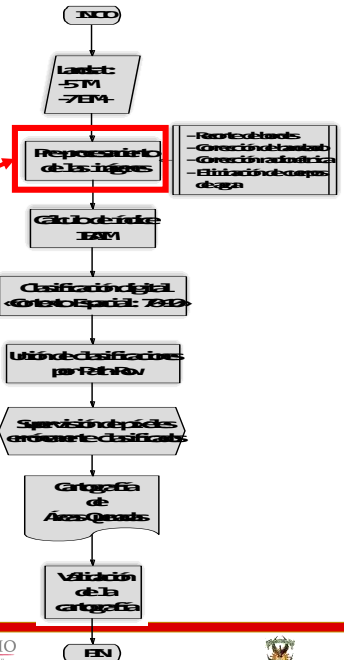


**METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**  
«Segunda Etapa»

**II-2. Pre-procesamiento de las imágenes:**

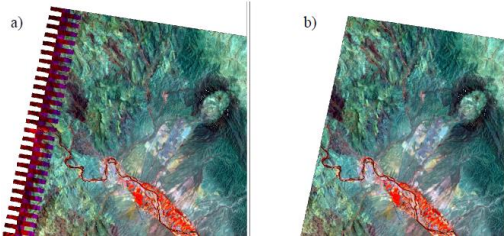
- Recorte de bordes
- Correcciones por bandeo
- Correcciones radiométricas
- Eliminación de cuerpos de agua extensos



**METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

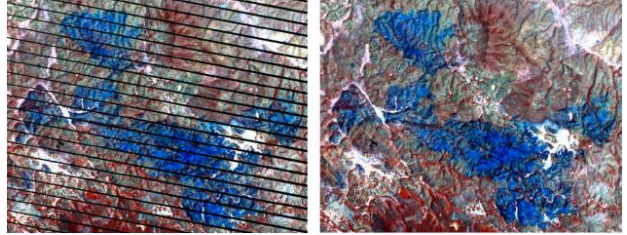
**II-2. PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES**

▪ **Recorte de bordes**



Recorte de bordes de las imágenes Landsat: a) sin recorte; b) con recorte.

▪ **Corrección por bandeado**



Ejemplo de relleno por efecto del bandeado en las imágenes Landsat 7 TM+ (Gap Fill).

▪ **Corrección radiométrica**

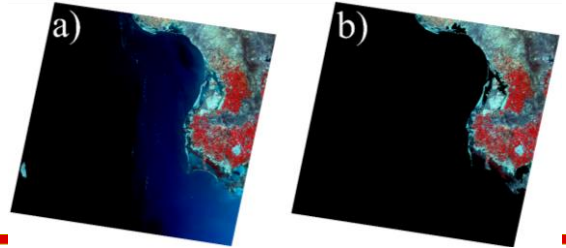
$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{E_{0,\lambda} \cos \theta_s}$$

$$L_{\lambda} = a_{0,k} + a_{1,k} ND_k$$

$$a_{0,k} = L_{\lambda,MIN} - \left( \frac{L_{\lambda,MAX} - L_{\lambda,MIN}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) Q_{calmin}$$

$$a_{1,k} = \frac{L_{MAX_{\lambda}} - L_{MIN_{\lambda}}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}}$$

▪ **Eliminación de coberturas extensas de cuerpos de agua.**



Exclusión de áreas extensas de cuerpos de agua: a) sin máscara; b) con máscara.



**METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-2. PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES**

Procesos realizados en la etapa de pre-procesamiento a las imágenes Landsat.

No.	Escena	Corrección Radiométrica	Corrección por Bandeado	Recorte de Bordes	Eliminación de Cuerpos de Agua
01	LT50300432011147CHM01	✓		✓	
02	LT50300442011147CHM01	✓		✓	
03	LT50300452011147CHM01	✓		✓	✓
04	LT50310432011138CHM01	✓		✓	
05	LT50310432011170EDC00	✓		✓	
06	LT50310442011138CHM01	✓		✓	✓
07	LT50310442011170EDC00	✓		✓	✓
08	LT50310452011138CHM01	✓		✓	✓
09	LT50320412011145EDC00	✓		✓	
10	LT50320412011177EDC00	✓		✓	
11	LT50320422011161CHM01	✓		✓	
12	LT50320432011161CHM01	✓		✓	✓
13	LT50320442011097EDC00	✓		✓	✓
14	LT50330412011136EDC00	✓		✓	
15	LE70330412011176EDC00	✓	✓	✓	
16	LE70330422011160EDC00	✓	✓	✓	✓
17	LT50330432011024EDC00	✓		✓	✓
18	LT50340422011159CHM01	✓		✓	✓



**METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**  
«Segunda Etapa»

**II-3. Índices de área quemada:**

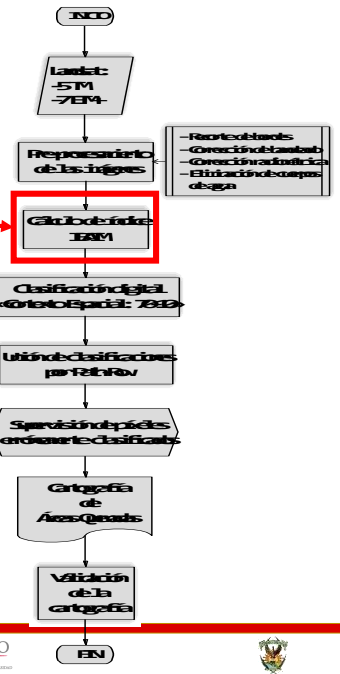
- IBAIM

● IBAIM - Improved Burned Area Index for MODIS

$$IBAIM = \left( \frac{\rho_{SWIR}}{\rho_{IR}} \right) \cdot \left( \sqrt{\frac{\rho_{IR}}{\rho_R}} \right) \cdot BAIM$$

donde:

$$BAIM = \frac{1}{(\rho_{CIR} - \rho_{IR})^2 + (\rho_{CSWIR} - \rho_{SWIR})^2}$$



**METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**ESQUEMA METODOLÓGICO**  
«Segunda Etapa»

**II-4. Clasificaciones digitales:**

- De contexto espacial: 70-10

● SC: 70-10

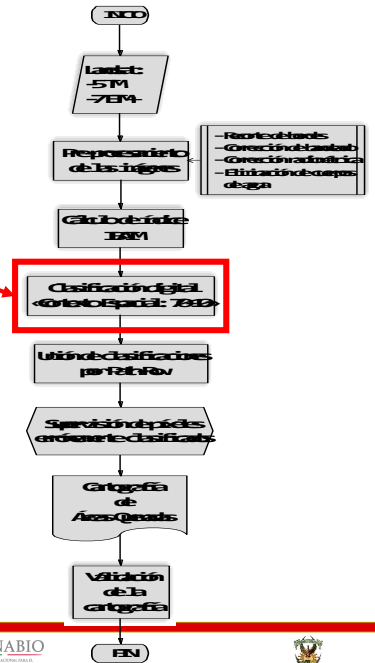
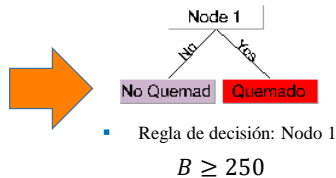
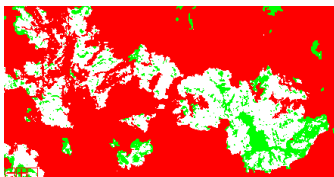
➤ Segmentación

- Área mínima: 10 píx.
- Similitud espectral: 70

➤ Clasificación digital

- Algoritmo Isoseg
- 5 iteraciones
- Umbral de aceptación: 95%

➤ Identificación de las categorías





## METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»

### ESQUEMA METODOLÓGICO «Segunda Etapa»

#### II-5. Cartografía de áreas quemadas:

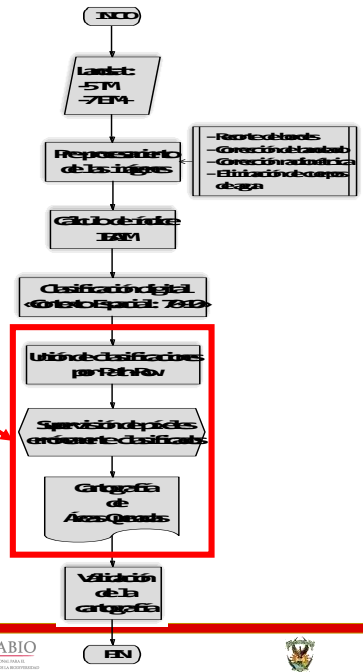
- Mosaico de escenas clasificadas
- Depuración de píxeles erróneamente clasificados

#### ❖ Depuración automática de píxeles:

- ✓ Eliminación de áreas quemadas menores a 1 ha.
- ✓ Eliminación de áreas quemadas por USyV (coberturas no combustibles).

#### ❖ Depuración supervisada

- ✓ Eliminación de polígonos mal clasificados.



## METODOLOGÍA «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»

### ESQUEMA METODOLÓGICO «Segunda Etapa»

#### II-6. Validación de la cartografía:

- Por matriz de confusión
- Análisis de errores eo/ec

#### ❖ Matrices de confusión:

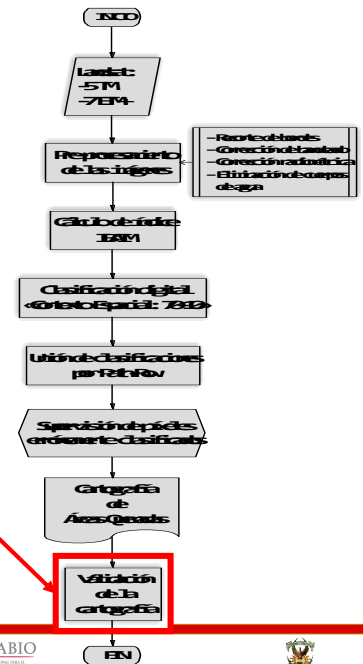
- ✓ 031-044
- ✓ 033-041
- ✓ 033-042
- ✓ RHA-III

#### ❖ Análisis de costos de clasificación:

- ✓ Función de costos

$$C(x) = 1 - [(1 - e_c)^\alpha (1 - e_o)^\beta]$$

$\alpha, \beta = 0 \rightarrow$  Pesos asignados a los errores: eo/ec



**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-1. PRE-PROCESAMIENTO**

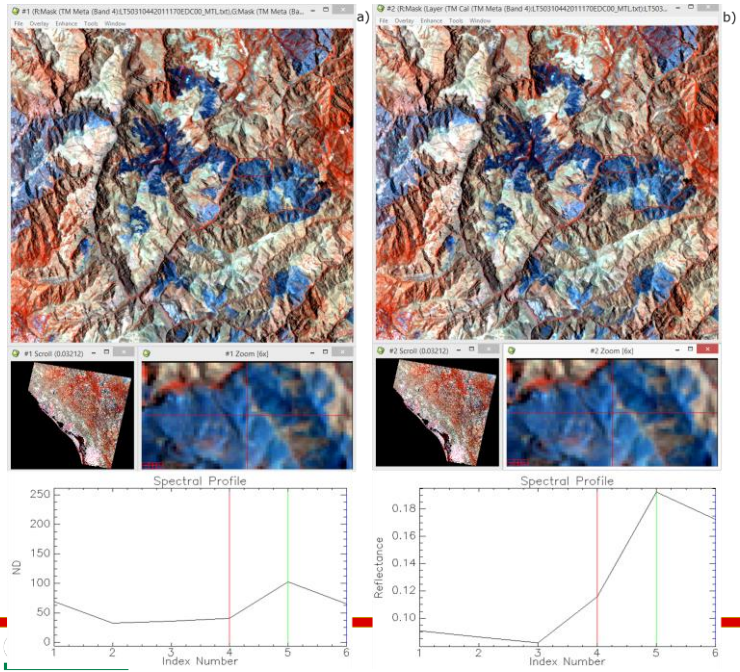
Escena 031-044

Original

Corregida

Composición en falso color:

- ✓ R - 4
- ✓ G - 5
- ✓ B - 7



**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-2. VARIABLES CONTINUAS**

«Realce»

PCA-5

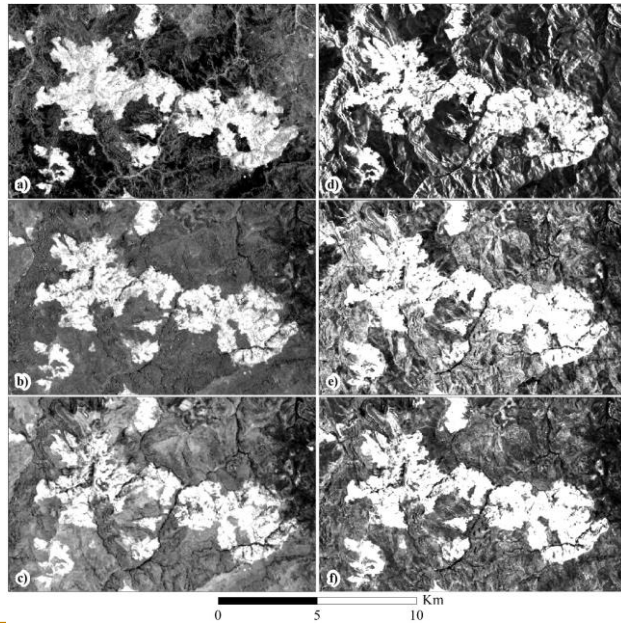
BAI

BR<sub>1</sub>:7/5

BAIM

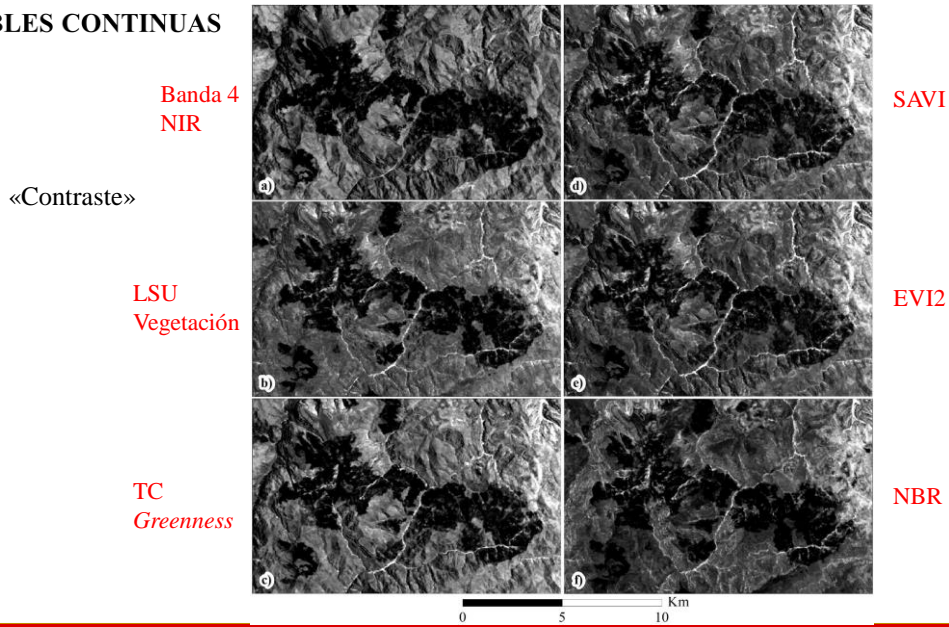
BR<sub>2</sub>:7/4

IBAIM



**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

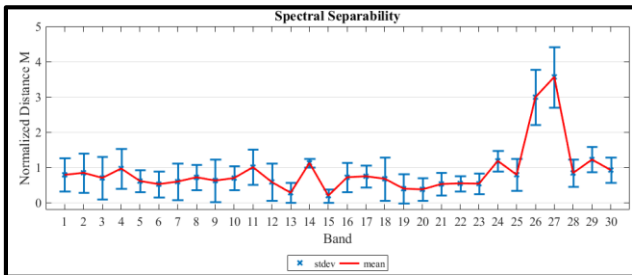
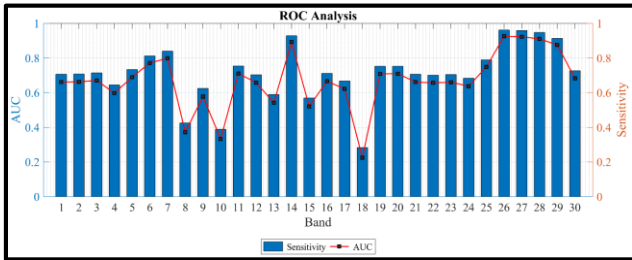
**I-2. VARIABLES CONTINUAS**



**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-3. EVALUACIÓN DE VARIABLES CONTINUAS**

Separabilidad espectral del compuesto de 30 bandas, con la distancia normalizada M.

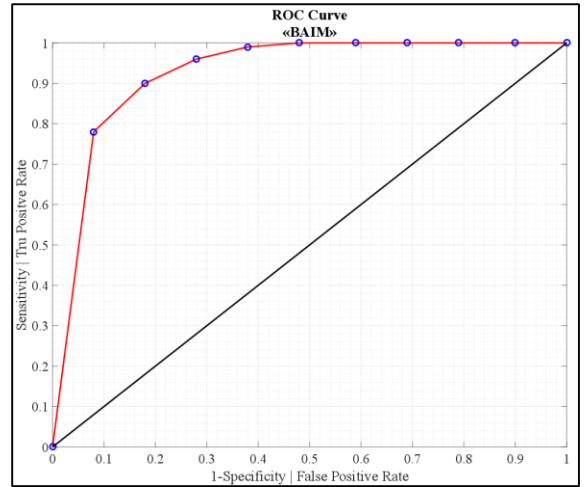
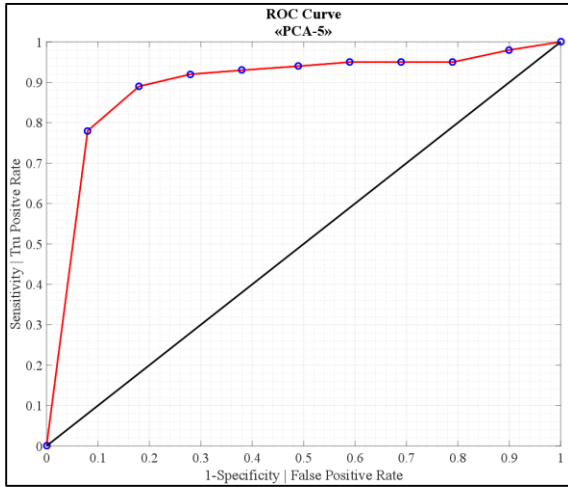


Banda	Técnica de Transformación	Variable	Distancia M	AUC	Sensibilidad
B1	Bandas espectrales "Landsat 5 TM"	Blue (0.452-0.518 μm)	0.791	0.661	0.706
B2		Green (0.528-0.609 μm)	0.849	0.662	0.707
B3		Red (0.626-0.693 μm)	0.706	0.670	0.714
B4		NIR (0.776-0.904 μm)	0.972	0.597	0.644
B5		SWIR 1 (1.567-1.784 μm)	0.616	0.689	0.733
B6	SWIR 2 (2.097-2.349 μm)	0.527	0.771	0.812	
B7	LSU	Quemado	0.601	0.798	0.839
B8		Vegetación	0.722	0.371	0.425
B9	PCA	Suelo	0.629	0.577	0.624
B10		PCA - 1	0.701	0.332	0.388
B11		PCA - 2	1.009	0.710	0.753
B12		PCA - 3	0.587	0.658	0.703
B13		PCA - 4	0.284	0.541	0.589
B14		PCA - 5	1.129	0.891	0.928
B15	PCA - 6	0.201	0.520	0.569	
B16	Tasseled Cap	Brightness	0.723	0.666	0.711
B17		Third	0.751	0.621	0.667
B18		Third	0.680	0.224	0.283
B19	Índices de Vegetación	NDVI	0.400	0.708	0.752
B20		RVI	0.379	0.709	0.752
B21		SAVI	0.531	0.661	0.706
B22		EVI	0.551	0.656	0.701
B23	Índices de Área Quemada	EVI2	0.542	0.660	0.704
B24		NBR	1.187	0.637	0.683
B25		BAI/IAQ	0.794	0.748	0.789
B26	IBAIM	BAIM	2.994	0.925	0.961
B27		IBAIM	3.566	0.922	0.958
B28	Band Ratios	BR <sub>2</sub> : 7/5	0.844	0.910	0.947
B29		BR <sub>2</sub> : 7/4	1.225	0.875	0.913
B30		BR <sub>2</sub> : 4/5	0.927	0.682	0.726



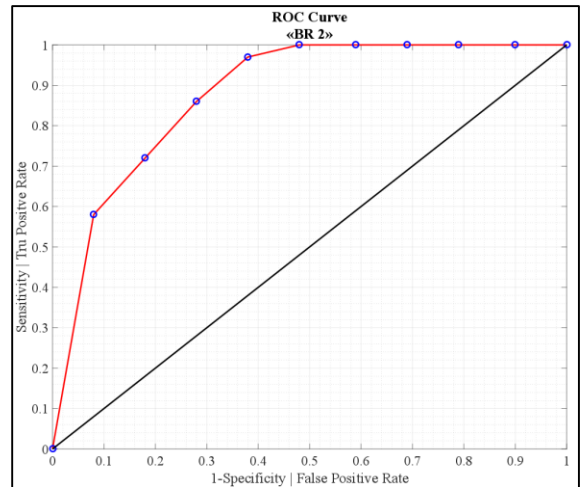
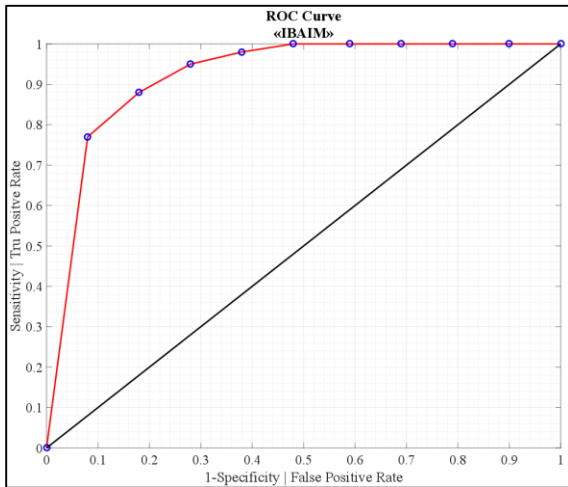
**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

➤ **Curvas ROC**



**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

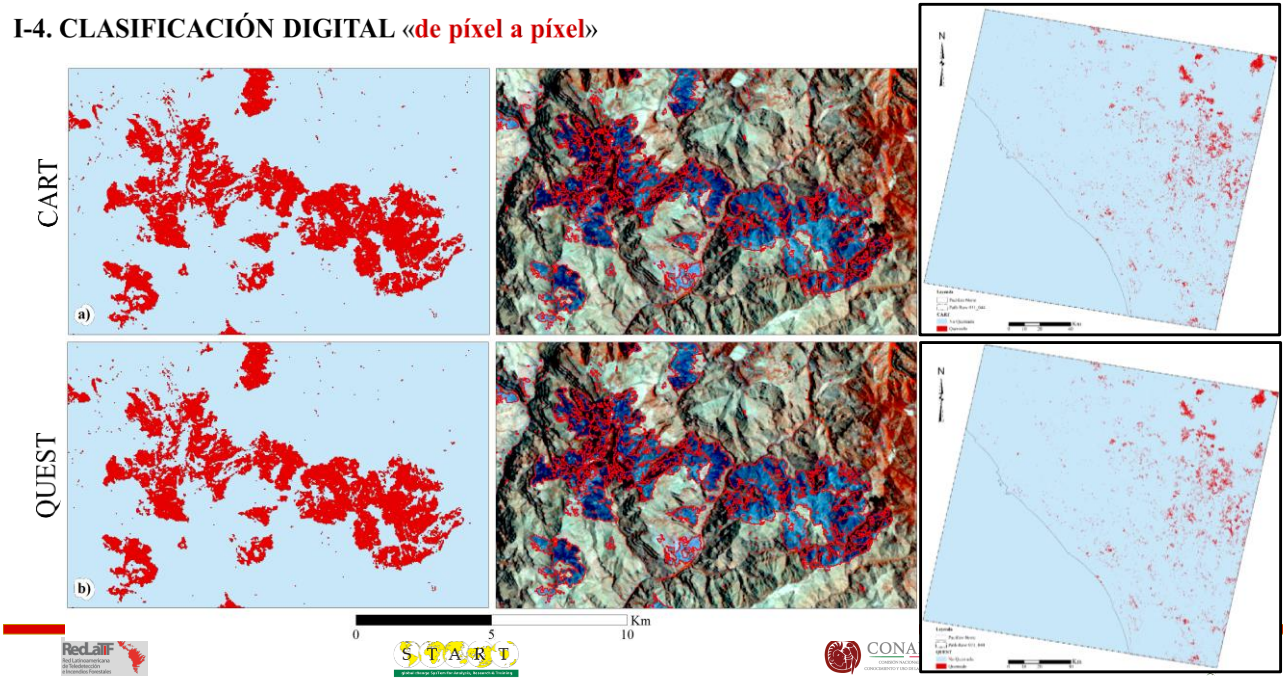
➤ **Curvas ROC**





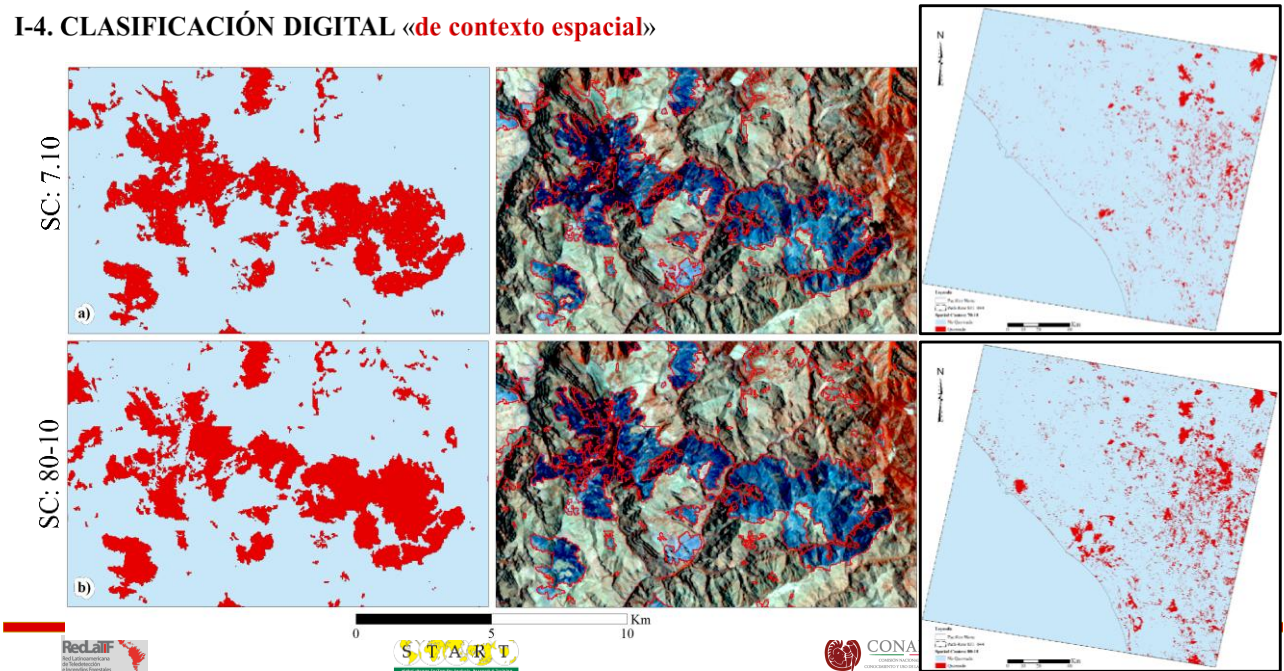
**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-4. CLASIFICACIÓN DIGITAL «de píxel a píxel»**



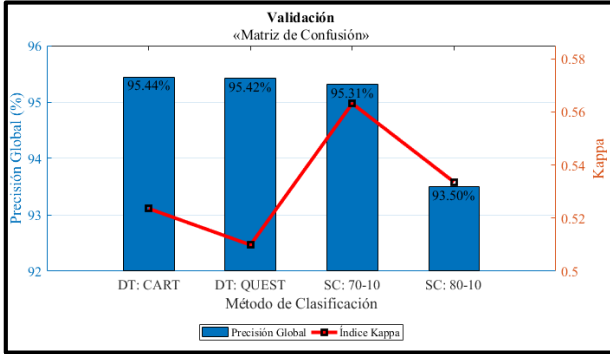
**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-4. CLASIFICACIÓN DIGITAL «de contexto espacial»**



**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-5. VALIDACIÓN | Evaluación de las técnicas de clasificación**  
**«por matriz de confusión»**



**CART**

		Clasificación Visual		Total
		Quemado	No quemado	
Clasificación Digital	Quemado	68,971 ha	17,995 ha	86,966 ha
	No quemado	97,096 ha	2,341,394 ha	2,438,490 ha
Total		166,067 ha	2,359,389 ha	2,525,456 ha

**QUEST**

		Clasificación Visual		Total
		Quemado	No quemado	
Clasificación Digital	Quemado	65,441 ha	15,007 ha	80,448 ha
	No quemado	100,626 ha	2,344,382 ha	2,445,008 ha
Total		166,067 ha	2,359,389 ha	2,525,456 ha

**SC: 7.10**

		Clasificación Visual		Total
		Quemado	No quemado	
Clasificación Digital	Quemado	84,254 ha	36,560 ha	120,814 ha
	No quemado	81,813 ha	2,322,829 ha	2,404,642 ha
Total		166,067 ha	2,359,389 ha	2,525,456 ha

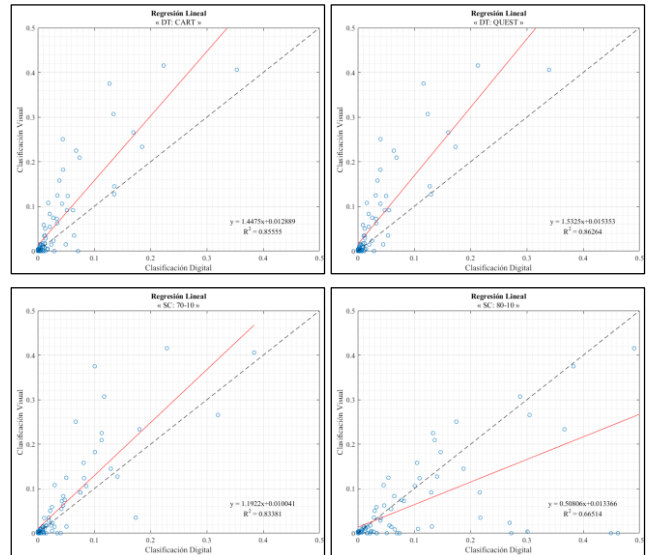
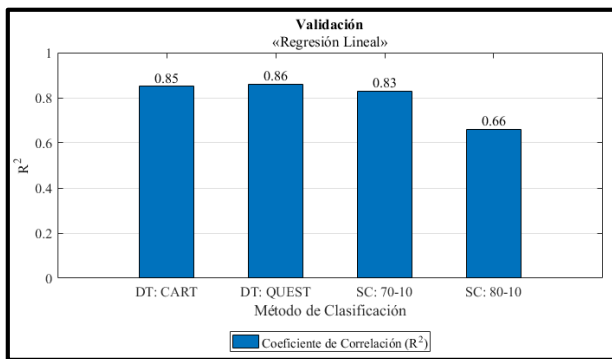
**SC: 80-10**

		Clasificación Visual		Total
		Quemado	No quemado	
Clasificación Digital	Quemado	107,956 ha	106,016 ha	213,971 ha
	No quemado	58,111 ha	2,253,373 ha	2,311,485 ha
Total		166,067 ha	2,359,389 ha	2,525,456 ha



**RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»**

**I-5. VALIDACIÓN | Evaluación de las técnicas de clasificación**  
**«por regresión lineal»**



- $m > 1$  → Tendencia a la sub-estimación
- $m < 1$  → Tendencia a la sobre-estimación
- $x$  → Errores de comisión
- $y$  → Errores de omisión



## RESULTADOS «FASE I: Detección de Áreas Quemadas»

### I-5. VALIDACIÓN | Evaluación de las técnicas de clasificación

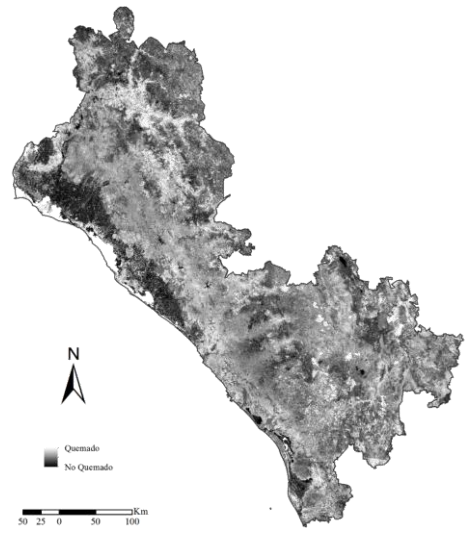
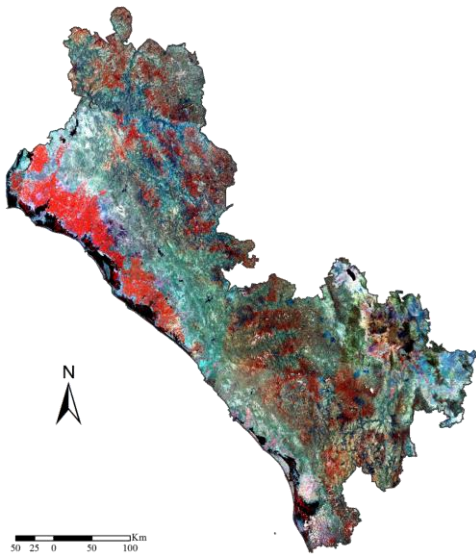
Parámetros de precisión e índice kappa obtenidos por la validación de las cuatro clasificaciones digitales de área quemada.

Indicadores de precisión	DT_CART	DT_QUEST	SC_70-10*	SC_80-10
Error de Omisión	58.47 %	60.59 %	<b>49.26 %</b>	34.99 %
Error de Comisión	20.69 %	18.65 %	<b>30.26 %</b>	49.55 %
Precisión del Productor	41.53 %	39.41 %	50.74 %	65.01 %
Precisión del Usuario	79.31 %	81.35 %	69.74 %	50.45 %
Precisión Global	<b>95.44 %</b>	<b>95.42 %</b>	<b>95.31 %</b>	93.50 %
<i>Kappa</i>	0.52	0.51	<b>0.56</b>	0.53
Coefficiente de correlación $R^2$	<b>0.85</b>	<b>0.86</b>	<b>0.83</b>	0.66



## RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»

### II-1. PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES | II-2. ÍNDICES DE ÁREA QUEMADA «IBAIM»

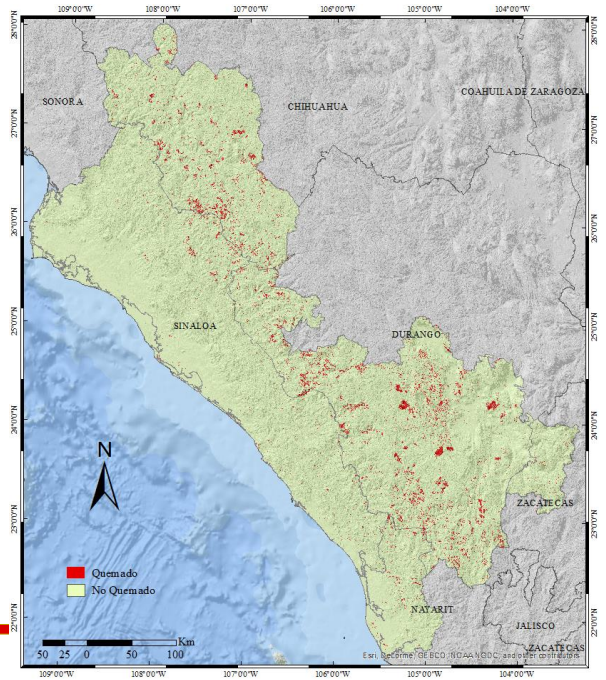




**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-3. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011**

- Área Quemada Total: 343,222 ha
- % de cobertura RHA-III 2.26%
- Número de incendios: 25,187
- Rango de superficies: 1 – 7,562 ha
- Superficie promedio: 13 ha/Incendio.



**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-4. VALIDACIÓN CARTOGRÁFICA | «Indicadores de Precisión»**

Indicadores de Precisión	RHA-III
Error de Omisión	<b>64.48 %</b>
Error de Comisión	<b>12.91 %</b>
Precisión del Productor	35.52 %
Precisión del Usuario	87.09%
Precisión Global	<b>96.09 %</b>
<i>Kappa</i>	<b>0.488</b>

❖ **Matriz de confusión**

		Clasificación Visual		
		Quemado	No quemado	Total
Clasificación Digital: RHA-III	Quemado	<b>146,671 ha</b>	21,740 ha	168,411 ha
	No quemado	266,276 ha	<b>6,879,468 ha</b>	7,145,744 ha
	Total	412,946 ha	6,901,20 ha	<b>7,314,155 ha</b>



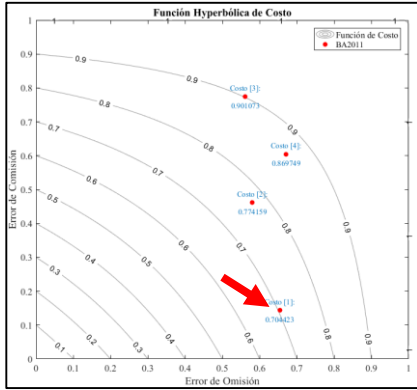


**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-4. VALIDACIÓN CARTOGRÁFICA | «Análisis de Costos de Clasificación»**

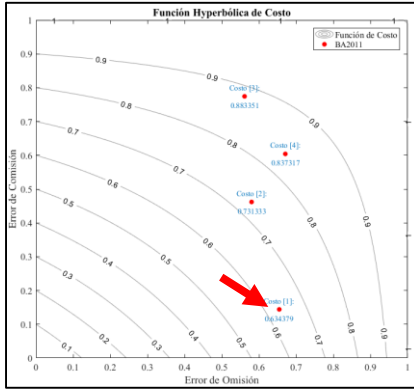
$$C(x) = 1 - [(1 - e_c)^\alpha (1 - e_o)^\beta]$$

$\alpha \rightarrow 1$



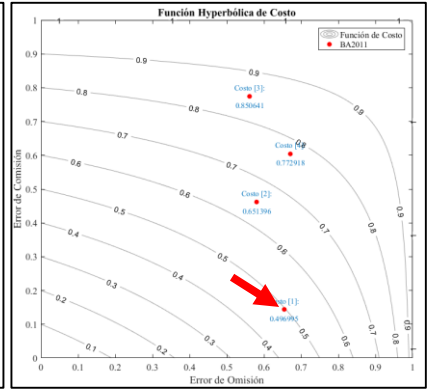
▪ Costo[AQPN2011] = 0.704

$\alpha \rightarrow 0.8$



▪ Costo[AQPN2011] = 0.634

$\alpha \rightarrow 0.5$



▪ Costo[AQPN2011] = 0.497



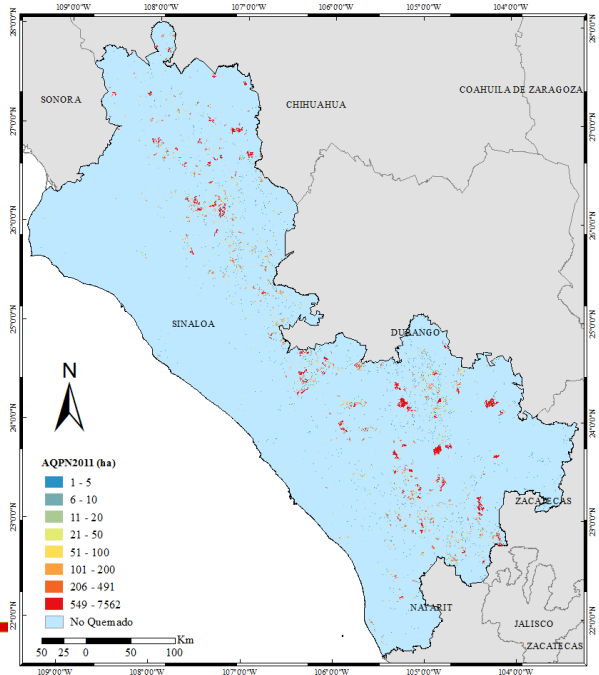
**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011 «Distribución Espacial de Áreas Quemadas»**

❖ Por superficies

Distribución de áreas quemadas por tamaño de superficie y frecuencia de ocurrencia.

Clase	Áreas Quemada (ha)	Número de Incendios	Porcentaje de Incendios	Porcentaje Acumulado de Incendios	Área Quemada por Clase	Porcentaje de Área Quemada	Porcentaje Acumulado de AQ
1	1 - 5	32,349	<b>77.54%</b>	77.54%	68,434	<b>15.80%</b>	15.80%
2	6 - 10	4,125	9.89%	87.43%	31,166	7.20%	23.00%
3	11 - 20	2,437	5.84%	93.27%	35,088	8.10%	31.10%
4	21 - 50	1,647	3.95%	97.22%	51,043	11.79%	42.88%
5	51 - 100	576	1.38%	98.60%	4,560	9.37%	52.25%
6	101 - 200	300	0.72%	99.32%	41,555	9.59%	61.84%
7	201 - 491	192	0.46%	99.78%	57,552	13.29%	<b>75.13%</b>
8	<b>501 - 7562</b>	91	<b>0.22%</b>	100%	107,703	<b>24.87%</b>	100%



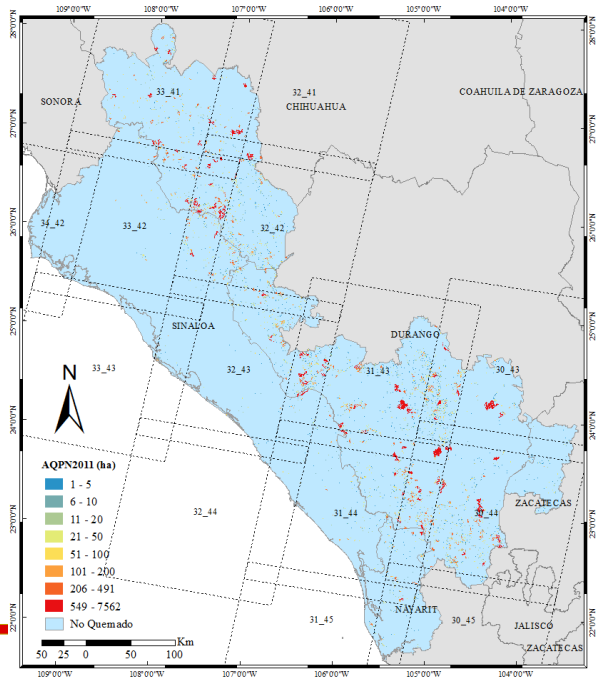
**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011**  
«Distribución Espacial de Áreas Quemadas»

❖ Por escenas Landsat (path-row)

Superficies de área quemada por path-row.

No.	Path-Row	Áreas Quemadas	Porcentaje del Área Quemada Total	Superficie de la Escena Landsat	Índice de Contribución por Path-Row	Porcentaje de Contribución por Path-Row
01	030-043	48,010 ha	11.09%	1,280,792 ha	0.037	7.58%
02	030-044	103,175 ha	<b>23.82%</b>	2,338,909 ha	0.044	<b>16.30%</b>
03	030-045	7,887 ha	1.82%	567,679 ha	0.014	1.25%
04	031-043	134,326 ha	<b>31.01%</b>	2,353,945 ha	0.057	<b>21.22%</b>
05	031-044	69,373 ha	16.02%	2,530,290 ha	0.027	10.96%
06	031-045	4,821 ha	1.11%	363,652 ha	0.013	0.76%
07	032-042	15,209 ha	3.51%	473,061 ha	0.032	2.40%
08	032-043	93,919 ha	<b>21.69%</b>	1,980,902 ha	0.047	<b>14.81%</b>
09	032-044	51,645 ha	11.92%	2,592,063 ha	0.020	8.15%
10	033-041	909 ha	0.21%	223,262 ha	0.004	0.14%
11	033-042	53,822 ha	12.43%	1,955,719 ha	0.028	8.48%
12	033-043	48,745 ha	11.25%	3,107,571 ha	0.016	7.67%
13	033-044	1,374 ha	0.32%	578,672 ha	0.002	0.22%
14	034-042	377 ha	0.09%	553,763 ha	0.001	0.06%
<b>Total</b>		<b>633,592 ha</b>	<b>146.29%</b>	<b>20,900,281 ha</b>	<b>0.34</b>	<b>100%</b>



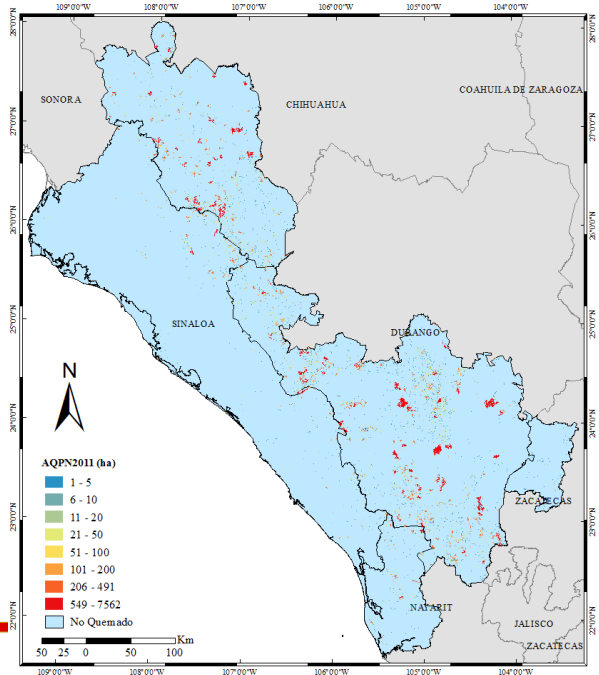
**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011**  
«Distribución Espacial de Áreas Quemadas»

❖ Por Estados

Distribución de área quemada por Estado.

No.	Estados	Áreas Quemadas	Porcentaje del Área Quemada Total	Superficie del Estado	Índice de Contribución por Estado	Porcentaje de Contribución por Estado
01	Chihuahua	110,541 ha	<b>25.49%</b>	2,903,442 ha	0.038	<b>28.69%</b>
02	Durango	262,974 ha	<b>60.63%</b>	5,199,064 ha	0.051	<b>38.12%</b>
03	Nayarit	15,071 ha	3.47%	890,596 ha	0.017	12.75%
04	Sinaloa	40,673 ha	9.38%	5,515,339 ha	0.007	5.56%
05	Zacatecas	4,448 ha	1.03%	451,492 ha	0.010	7.46%



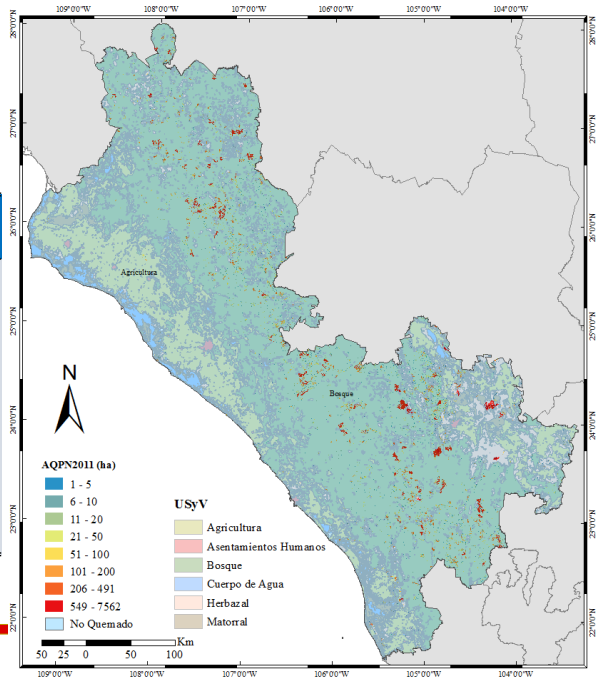
**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011**  
«Distribución Espacial de Áreas Quemadas»

❖ Por USyV

Distribución de área quemada por uso de suelo y vegetación.

No.	USyV	Áreas Quemadas	Porcentaje del Área Quemada Total	Superficie por Categoría	Índice de Contribución por Categoría	Porcentaje de Contribución por Categoría
1	Agricultura de riego	455 ha	0.10%	1,475,584 ha	3x10 <sup>4</sup>	0.17%
2	Agricultura de temporal	5,431 ha	1.25%	1,676,335 ha	0.003	1.79%
3	Asentamientos humanos	13 ha	0.00%	92,331 ha	1x10 <sup>4</sup>	0.08%
4	<b>Bosque</b>	<b>333,350 ha</b>	<b>76.86%</b>	6,735,893 ha	0.049	<b>27.32%</b>
5	Matorral	12,414 ha	2.86%	486,543 ha	0.026	14.09%
6	Pastizal	27,018 ha	6.23%	1,065,159 ha	0.025	14.00%
7	Sabanoide	408 ha	0.09%	16,792 ha	0.024	13.42%
8	<b>Selva</b>	<b>51,628 ha</b>	<b>11.90%</b>	3,086,130 ha	0.017	<b>9.24%</b>
9	Vegetación halófila	2,709 ha	0.62%	95,357 ha	0.028	<b>15.68%</b>
10	Vegetación hidrófila	289 ha	0.07%	37,865 ha	0.008	4.22%



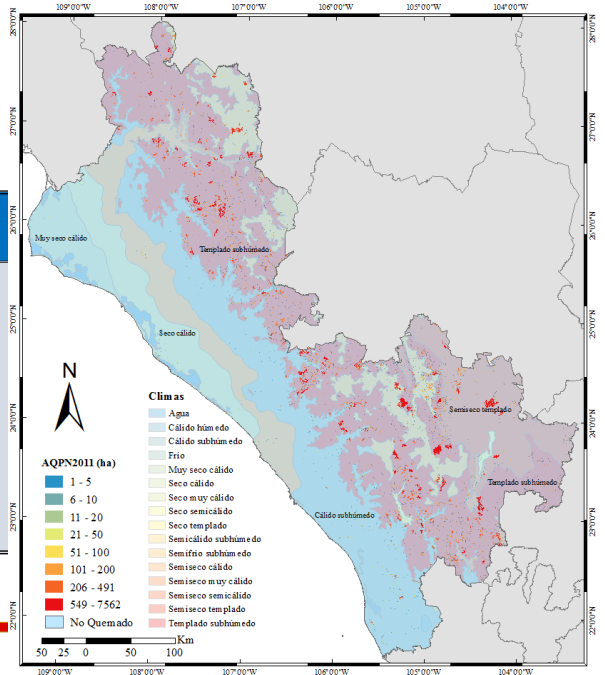
**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011**  
«Distribución Espacial de Áreas Quemadas»

❖ Por tipos de clima

Distribución de áreas quemadas por tipos de clima.

No.	Unidades Climáticas	Área Quemada	Porcentaje del Área Quemada Total	Superficie por Tipo de Clima	Índice de Contribución por Clima	Porcentaje de Contribución por Clima
1	Cálido subhúmedo	34,206 ha	7.89%	3,310,923 ha	0.079	7.89%
2	Muy seco cálido	373 ha	0.09%	543,095 ha	0.001	0.09%
3	Seco cálido	1,723 ha	0.40%	1,034,659 ha	0.004	0.40%
4	Seco semicálido	267 ha	0.06%	29,785 ha	0.001	0.06%
5	Seco templado	1,106 ha	0.25%	24,267 ha	0.003	0.25%
6	<b>Semifrío subhúmedo</b>	<b>38,906 ha</b>	<b>8.97%</b>	1,259,304 ha	0.090	<b>8.97%</b>
7	Semiseco cálido	2,609 ha	0.60%	1,303,396 ha	0.006	0.60%
8	Semiseco muy cálido	118 ha	0.03%	18,330 ha	3x10 <sup>4</sup>	0.03%
9	Semiseco semicálido	9,722 ha	2.24%	138,950 ha	0.022	2.24%
10	<b>Semiseco templado</b>	<b>31,265 ha</b>	<b>7.21%</b>	1,374,083 ha	0.072	<b>7.21%</b>
11	<b>Templado subhúmedo</b>	<b>313,394 ha</b>	<b>72.26%</b>	5,938,740 ha	0.723	<b>72.26%</b>



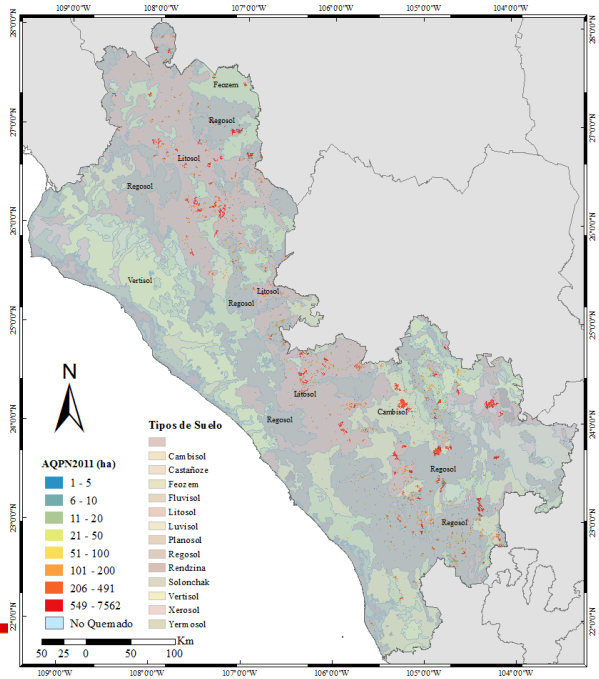
**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011**  
«Distribución Espacial de Áreas Quemadas»

❖ Por tipos de suelo

Distribución de áreas quemadas por la composición del suelo.

No.	Suelos	Área Quemada	Porcentaje del Área Quemada Total	Superficie por Tipo de Suelo	Índice de Contribución por Suelo	Porcentaje de Contribución por Suelo
1	Cambisol	56,522 ha	13.03%	1,862,406 ha	0.030	17.01%
2	Castañoze	1,475 ha	0.34%	449,785 ha	0.003	1.84%
3	Feozem	43,247 ha	9.97%	2,041,884 ha	0.021	11.87%
4	Fluvisol	27 ha	0.01%	42,568 ha	0.001	0.36%
5	Litosol	197,594 ha	45.56%	4,149,395 ha	0.048	26.69%
6	Luvisol	1,340 ha	0.31%	218,677 ha	0.006	3.43%
7	Planosol	166 ha	0.04%	50,934 ha	0.003	1.82%
8	Regosol	120,421 ha	27.77%	3,948,608 ha	0.030	17.09%
9	Rendzina	299 ha	0.07%	44,592 ha	0.007	3.76%
10	Solonchak	1,490 ha	0.34%	497,358 ha	0.003	1.68%
11	Vertisol	3,747 ha	0.86%	1,284,762 ha	0.003	1.63%
12	Xenosol	7,232 ha	1.67%	316,254 ha	0.023	12.82%



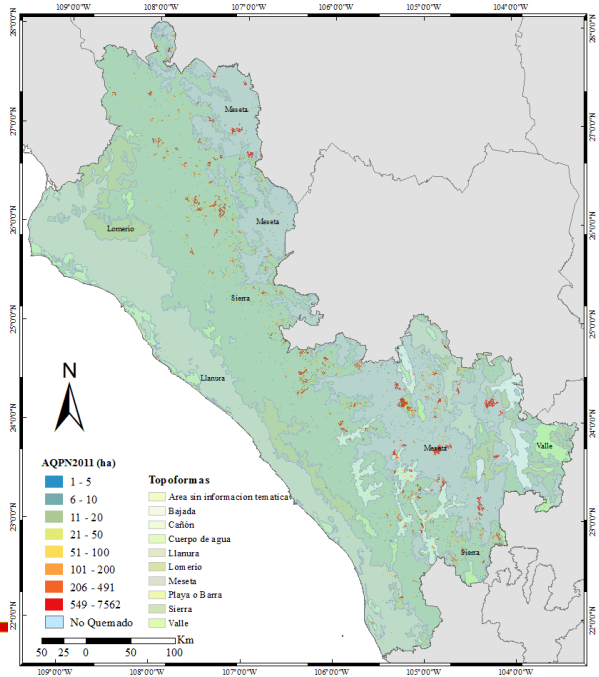
**RESULTADOS «FASE II: Inventario de Áreas Quemadas»**

**II-5. CLASIFICACIÓN DIGITAL | AQPN2011**  
«Distribución Espacial de Áreas Quemadas»

❖ Por el tipo de relieve

Distribución de áreas quemadas de acuerdo a la fisiografía.

No.	Provincias Fisiográficas	Área Quemada	Porcentaje del Área Quemada Total	Superficie por Provincia Fisiográfica	Índice de Contribución por Provincia Fisiográfica	Porcentaje de Contribución por Provincia Fisiográfica
1	Bajada	4,098 ha	0.94%	237,381 ha	0.017	8.46%
2	Cañón	26,138 ha	6.03%	356,306 ha	0.073	35.95%
4	Llanura	11,883 ha	2.74%	2,951,850 ha	0.004	1.97%
5	Lomerío	12,112 ha	2.79%	935,038 ha	0.013	6.35%
6	Meseta	131,854 ha	30.40%	3,320,744 ha	0.040	19.46%
7	Playa o Barra	373 ha	0.09%	37,187 ha	0.010	4.91%
8	Sierra	244,142 ha	56.29%	6,805,734 ha	0.036	17.58%
9	Valle	2,239 ha	0.52%	302,802 ha	0.007	3.62%



## DISCUSIÓN

- ❖ En la etapa de pre-procesamiento de las imágenes se observó la necesidad de realizar correcciones alternativas, como la corrección topográfica (sombreado), corrección atmosférica y corrección de nubes.
- ❖ Se observaron significativos  $e_o/e_c$ , principalmente en áreas desprovistas de vegetación o de selvas bajas caducifolias (predominantes en la región), zonas con efecto de sombreado.
- ❖ Analizando la distribución y frecuencia de incidencia, se observó el mayor **número de incendios** en áreas de 1-5 ha (**77%**). Representando apenas el **16%** del total de **áreas quemadas** de la cartografía AQP2011.
- ❖ Aprox., el **75%** de áreas quemadas en la cartografía AQP2011, ocurrió en **superficies < 500 ha**.
- ❖ Se encontró que las cinco escenas más representativas en cuanto a contribución de superficies afectadas, están estrechamente relacionadas con las siguientes categorías temáticas:
  - Cobertura de **bosque** (USyV)
  - Clima **templado subhúmedo** (tipos de clima)
  - Provincias fisiográficas: **sierras** y **mesetas** (topoformas)
  - Tipos de suelo: **litosol**, **regosol** y **cambisol** (tipos de suelo | edafología)



## DISCUSIÓN

- ❖ Al comparar las áreas quemadas de la cartografía AQP2011 y la estadística de incendios de CONAFOR, se encontró una sub-estimación relevante.

Comparación entre áreas quemadas de la cartografía AQP2011 e información de CONAFOR.

No.	Estados	AQP2011		CONAFOR 2011		Comparación	
		AQ	% de AQ	AQ	% de AQ	Superficie	%
01	Chihuahua	110,541 ha	25.49%	87,920 ha	36.02%	-22,621 ha	(-) 20.46%
02	Durango	262,974 ha	60.63%	42,005 ha	17.21%	-220,969 ha	(-) 84.03%
03	Nayarit	15,071 ha	3.47%	4,560 ha	1.87%	-10,511 ha	(-) 69.74%
<b>04</b>	<b>Sinaloa</b>	<b>40,673 ha</b>	<b>9.38%</b>	<b>4,084 ha</b>	<b>1.67%</b>	<b>-36,589 ha</b>	<b>(-) 89.96%</b>
05	Zacatecas	4,448 ha	1.03%	42,279 ha	17.32%	+37,831 ha	(+) 850.52%



## CONCLUSIONES

- ❖ La evaluación de variables continuas, permitió identificar al índice **IBAIM** como la variable de mayor aptitud para el realce de áreas quemadas.
- ❖ Al evaluar las técnicas de clasificación, se identificó a la *clasificación digital de contexto espacial*, como la óptima para la detección de áreas quemadas.
- ❖ La comparación entre la cartografía AQP2011 y los partes de incendio de CONAFOR, demostró que hay una gran sub-estimación de superficies afectadas por el fuego.



## REFERENCIAS

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ FAO, 2007. Fire Management: Global Assessment 2006, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.</li> <li>❖ Leblon, B., Bourgeau-chavez, L. &amp; San-Miguel-Ayanz, J., 2012. Use of Remote Sensing in wildfire Management. En: D. S. Curkovic, ed. Sustainable Development - Authoritative and Leading Edge Content for Environmental Management. s.l.:InTech, pp. 55-82.</li> <li>❖ Chuvieco, E. &amp; Justice, C., 2010. Relations Between Human Factors and Global Fire Activity. En: E. Chuvieco, J. Li &amp; X. Yang, eds. Advances in Earth Observation of global Change. s.l.: Springer Science+Business Media, pp. 187-199.</li> <li>❖ FAO, 2001b. Global Forest Resources Assessment 2000. Rome Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.</li> <li>❖ FAO, 2015. Global Forest Resources Assessment 2015: Desk Reference, Rome. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.</li> <li>❖ CONAFOR, 2011. Reporte Semanal de Incendios Forestales, s.l.: Comisión Nacional Forestal.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Hantson, S., Padilla, M., Corti, D. &amp; Chuvieco, E., 2013. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. Remote Sensing of Environment, 131(11), pp. 152-159.</li> <li>❖ Chander, G., Markham, B. L. &amp; Helder, D. L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, Volumen 113, pp. 893-903.</li> <li>❖ Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. &amp; Deering, D. W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Fraden S. C. Marcanti E. P. &amp; Becker M. A. (eds.). Third ERTS-1 Symposium, 10-14 Dec. 1973, Volumen NASA SP-351 Washington D. C. NASA, pp. 309-317.</li> <li>❖ Wu, W., 2014. The Generalized Difference Vegetation Index (GDVI) for Dryland Characterization. Remote Sensing, 6(2), pp. 1211-1233.</li> <li>❖ Huete, A. R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3), pp. 295-309.</li> </ul> |
|--|--|





## REFERENCIAS

- ❖ Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K. & Miura, T., 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote of Environment*, 112(10), pp. 3833-3845.
- ❖ Yamamoto, H., Miura Tomoaki & Tsuchida, S., 2012. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Enhanced Vegetation Index (EVI) Products from Global Earth Observation (GEO) Grid: An Assessment Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) for Synergistic Application. *Remote Sensing*, 4(8), pp. 2277-2293.
- ❖ Pinty, B. & Verstraete, M. M., 1992. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from setellites. *Plant Ecology*, 101(1), pp. 15-20.
- ❖ Key, C. H. & Benson, N. C., 2006. Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote Sensing of severity, the Normalized Burn Ratio, Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- ❖ Martin Isabel, M. d. P. & Chuvieco Salinero, E., 1998. Cartografía de grandes incendios forestales en la península ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. *Serie Geográfica*, Volumen 7, pp. 109-128.
- ❖ Martín, M. P., Gómez, I. & Chuvieco, E., 2006. Burnt Area Index (BAIM) for burned area discrimination at regional scale using MODIS data. *Forest Ecology and Management*, Volumen 234, p. S221.
- ❖ Gómez Nieto, I. & Martin, P., 2007. Improving the performance of the BAIM index for burnt area mapping using MODIS data. Thessaloniki, Greece: Proceedings of the 6th International Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Forest Fires.
- ❖ Al-Wassai, F. A., Kalyankar, N. V. & Al-Zuky, A. A., 2011. The IHS Transformation Based Image Fusion. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 2(5), pp. 1-10.



## REFERENCIAS

- ❖ Collins, J. B. & Woodcock, C. E., 1996. An Assessment of Several Linear Change Detection Techniques for Mapping Forest Mortality Using Multitemporal Landsat TM Data. *Remote Sensing of Environment*, 56(1), pp. 66-77.
- ❖ Shimabukuro, Y. E. y otros, 2009. Fraction images derived from Terra Modis data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, 30(6), pp. 1537-1546.
- ❖ Kauth, R. J. & Thomas, G. S., 1976. The Tasseled Cap -- A Graphic Description of the Spectral-Tempora Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat, s.l.: Laboratory for Applications of Remote Sensing.



...Fin de la Presentación



*Gracias por su atención...*

USGS / NASA  
*Landsat Continuity Mission*